

CONTRIBUTO PARA AVALIAR A POSSIBILIDADE DE REUTILIZAÇÃO DAS AREIAS REMOVIDAS NAS ETAR

MARIA DE FÁTIMA MARTINS PEREIRA

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente,
Perfil Engenharia Sanitária

Orientador da Dissertação de Mestrado

Professora Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Lisboa

2008

*“Na natureza nada se cria, nada se perde,
tudo se transforma.”*

Antoine-Laurent de Lavoisier

Aos meus pais

Agradecimentos

À SIMARSUL, S. A., em nome do seu Administrador Eng. José Sardinha, pelo apoio concedido, pela visita técnica à ETAR de Sesimbra e pela disponibilização das infra-estruturas para a recolha de amostras e dos documentos necessários para a caracterização da ETAR de Sesimbra e das areias removidas nas ETAR.

À Professora Leonor Amaral, orientadora desta dissertação, pela orientação e ensinamentos prestados, disponibilidade, apoio, incentivo e amizade demonstrada, tornando o trabalho desenvolvido muito gratificante.

Ao Professor Vasco Moreira Rato pelos ensinamentos prestados, pela disponibilidade demonstrada ao longo de todo o trabalho, por ter possibilitado a realização da análise granulométrica e pela revisão final do texto, na parte que concerne à aplicação das areias no fabrico de betão e argamassas.

Às Eng. Ana Marcão e Teresa Gomes, da SIMARSUL, S. A., pela sua disponibilidade, incansáveis no esclarecimento de dúvidas e na disponibilização dos dados e documentos essenciais para a caracterização da ETAR de Sesimbra e das areias removidas nas ETAR.

Ao Professor Artur Cabeças pelos ensinamentos prestados, disponibilidade, bibliografia facultada e opiniões sobre a reutilização das areias removidas nas ETAR em aterros sanitários.

À Professora Isabel Peres pelos ensinamentos prestados, disponibilidade e opiniões sobre a qualidade sanitária das areias removidas nas ETAR e dos parâmetros a equacionar.

Ao Professor David Pereira pelos ensinamentos prestados, disponibilidade e opiniões sobre a reutilização das areias removidas nas ETAR em almofadas de assentamento.

Ao Professor Luís Quaresma pelos ensinamentos prestados e pela disponibilização de documentos referentes à qualidade dos materiais exigida para a pavimentação de estradas.

Ao Eng. António Roque, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pelos ensinamentos prestados e pela disponibilização de documentos referentes à qualidade dos materiais para a construção de aterros, na fase de terraplenagem.

Aos meus pais, que de muito abdicaram para que eu pudesse chegar até aqui, por acreditarem em mim, pelo incentivo, apoio e compreensão.

Aos meus amigos, em especial ao David, pela compreensão, amizade e apoio incondicional.

Resumo

O presente trabalho insere-se na temática da valorização dos resíduos e da importância de os desviar dos aterros sanitários, indo ao encontro das novas directivas europeias em matéria de gestão de resíduos, contribuindo para atingir os objectivos nacionais, elevados por compromissos internacionais e comunitários assumidos pelo Estado Português.

As areias removidas das águas residuais nas ETAR são, em geral, encaminhadas para aterro sanitário e depositadas como resíduo. Este trabalho contribui para avaliar a possibilidade de reutilização destas areias para outros fins, nomeadamente em: aterro sanitário (sistema de impermeabilização basal, terra de cobertura diária e selagem final); almofadas de assentamento; construção de estradas (terraplenagens e pavimentos); fabrico de betão e argamassas; ou noutros usos cuja qualidade exigida seja compatível com a qualidade destas areias.

Tendo em conta que a reutilização destas areias só é possível se forem asseguradas as características técnicas, e se do seu manuseamento e aplicação não resultar qualquer risco para a saúde pública e para o ambiente, foi determinada a composição granulométrica, o coeficiente de permeabilidade, e o impacte que a desinfecção com hipoclorito de sódio pode ter na qualidade sanitária das areias removidas das águas residuais de uma ETAR seleccionada como caso de estudo (ETAR de Sesimbra).

Os resultados obtidos para a granulometria e para o coeficiente de permeabilidade, permitem concluir que as areias em estudo, para estes parâmetros, têm características semelhantes às de uma areia corrente, sendo interessantes para os usos equacionados, embora o valor da matéria orgânica seja um pouco elevado. A nível da qualidade sanitária, os valores de coliformes fecais foram superiores ao que seria desejável, pelo que devem ter um tratamento adicional antes de serem reutilizadas. Embora os resultados não possam ser tomados como definitivos ou conclusivos, a desinfecção com hipoclorito de sódio revelou-se benéfica na medida em que permitiu reduzir, em todos os ensaios, o valor de coliformes fecais, atingindo uma qualidade sanitária comparável à exigida nos E.U.A. para a valorização agrícola de lamas de ETAR.

Palavras-chave:

Agregados, areias, aterro sanitário, coeficiente de permeabilidade, granulometria, qualidade sanitária, reutilização, subprodutos de ETAR.

Abstract

The present work reflects the importance of enhancing waste and its diversion from landfills, meeting the new European directives on waste management, helping to achieve national objectives by dint of international and Community commitments assumed by the Portuguese State.

The grit removed from waste water at Waste Water Treatment Plant (WWTP) is, generally, sent on to landfills and disposed of as waste. This work is a contribution to the assessment of the possibility of the reuse of this grit for other purposes, to wit at: sanitary landfills (liner system, daily cover soil and final sealing); settlement cushions; roadbuilding (earthworks and paving); the manufacture of concrete and mortars; or other uses whose required quality is compatible with the quality of this grit.

Bearing in mind that the reuse of this grit is only possible if the technical characteristics have been ensured, and if its handling and application does not result in any risk to public health and the environment, was determined the particles size distribution, the permeability coefficient and the impact that disinfection with sodium hypochlorite may have on the sanitary quality of the grit removed from the waste water at a WWTP selected for a case study (Sesimbra WWTP).

The results obtained for particles size distribution and for the permeability coefficient allow us to conclude that, for these parameters, the grit under study has characteristics similar to those of standard sand, being interesting for the uses in question, though the value of the organic matter is a little high. As regards sanitary quality, the values for faecal coliforms were greater than that which would be desirable, meaning that they should be subject to additional treatment prior to reuse. Although the results cannot be taken as final or conclusive, disinfection using sodium hypochlorite proved beneficial insofar as it allowed a reduction, in all the tests, in the value of faecal coliforms, achieving sanitary quality comparable to that required in the U.S.A. for the agricultural enhancement of WWTP sludge.

Key-words:

Aggregates, grit, landfill, permeability coefficient, particles size distribution, sanitary quality, reuse, WWTP subproducts.

Résumé

Le présent travail se base sur la valorisation des résidus et de leurs détours des remblais sanitaires, en prenant en compte les nouvelles directives européennes en matière de gestion des déchets, contribuant à atteindre les objectifs nationaux pris par l'Etat Portugais au travers d'engagements internationaux et communautaires.

Les sables extraits des eaux résiduelles dans les Stations d'Épuration des Eaux Usées Urbaines sont, en général, acheminés par des remblais sanitaires et déposés comme déchets. Ce travail contribue à évaluer la possible réutilisation de ces sables à d'autres fins, notamment : pour les remblais sanitaires (système d'imperméabilisation, terre de couverture quotidienne et scellage final) ; pour les coussins de tassement ; pour la construction de routes (terrassement et pavés) ; pour la fabrication de béton et mortier ; ou encore pour d'autres utilisations dont la qualité exigée serait compatible avec la qualité de ces sables.

Prenant en compte que la réutilisation de ces sables n'est possible que si d'une part les caractéristiques techniques ont été assurées, et que si d'autre part leur maniement et leur application n'engendre aucun risque pour la santé publique et pour l'environnement, il a été déterminé la composition granulométrique, le coefficient de perméabilité et l'impact que la désinfection avec de l'hypochlorite de sodium pourrait avoir sur la qualité sanitaire des sables extraits des eaux résiduelles de la Station d'Épuration des Eaux Usées Urbaines sélectionnée comme cas d'étude (Station d'Épuration des Eaux Usées Urbaines de Sesimbra).

Les résultats obtenus pour la granulométrie et pour le coefficient de perméabilité, permettent de conclure que les sables étudiés, concernant ces paramètres, ont des caractéristiques similaires à celles d'un sable courant, intéressants pour les utilisations en question, bien que la valeur de la matière organique soit un peu élevée. Au niveau de la qualité sanitaire, les valeurs des coliformes fécales ont été supérieures à celles souhaitables, c'est pourquoi ils devront subir un traitement supplémentaire avant d'être réutilisés. Bien que les résultats ne puissent pas être pris comme définitifs ou concluants, la désinfection avec l'hypochlorite de sodium s'est révélée bénéfique dans la mesure où elle a permis de réduire, dans tous les essais, la valeur des coliformes fécales, atteignant une qualité sanitaire comparable à celle exigée aux E.U.A pour la valorisation agricole des boues des Stations d'Épuration des Eaux Usées Urbaines.

Mots-clés:

Granulats, sables, remblais sanitaires, coefficient de perméabilité, granulométrie, qualité sanitaire, réutilisation, sous-produits des Stations d'Épuration des Eaux Usées Urbaines.

Índice de Texto

1. Introdução	1
1.1. Água, um recurso cada vez mais escasso	1
1.1.1. Ciclo Hidrológico	2
1.1.2. Ciclo Urbano da Água.....	3
1.1.3. Escassez da Água	4
1.1.4. Protecção e Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos.....	5
1.1.5. As Alterações Climáticas e os Recursos Hídricos.....	10
1.2. Tratamento de Águas Residuais Urbanas.....	12
1.2.1. Etapas do Tratamento das Águas Residuais Urbanas.....	14
1.2.1.1. Tratamento Preliminar	16
1.2.1.2. Tratamento Primário	17
1.2.1.3. Tratamento Secundário	18
1.2.1.4. Tratamento Terciário	19
1.2.1.5. Tratamento da Fase Sólida	20
1.2.1.6. Desodorização.....	22
1.2.2. Legislação Nacional sobre ARU	23
1.3. Operação de Desarenação	26
1.3.1. Sedimentação de Partículas Discretas.....	28
1.3.2. Tipos de Desarenadores	29
1.3.2.1. Desarenador de Fluxo Horizontal.....	29
1.3.2.2. Desarenador com Arejamento.....	30
1.3.2.3. Desarenador Tipo Ciclone	32

1.3.3. Classificador de Areias	33
1.3.4. Destino Final das Areias	34
1.4. Produção, Capitação e Custo de Deposição das Areias	35
1.4.1. Produção de Areias a Nível Nacional	35
1.4.2. Produção de Areias na ETAR de Sesimbra.....	38
1.4.3. Capitação de Areias Nacional e na ETAR de Sesimbra.....	38
1.4.4. Custo de Deposição das Areias em Aterro Sanitário	39
1.5. Problemática da Classificação das Areias como Resíduo.....	40
1.5.1. As Areias como um Resíduo.....	40
1.5.2. As Areias como um Produto	43
1.6. Valorização das Areias como um Produto	45
1.6.1. Vantagens Ambientais e Económicas	45
1.6.1.1. Vantagens Ambientais.....	45
1.6.1.2. Vantagens Económicas	46
1.6.2. Potenciais Usos que permitam a Valorização das Areias	47
1.6.2.1. Aterro Sanitário	47
1.6.2.2. Almofadas de Assentamento.....	50
1.6.2.3. Estradas: terraplenagens e pavimentação	51
1.6.2.4. Construção Civil: betão e argamassas	57
1.6.2.5. Outros Usos	67
1.7. Manuseamento das Areias e Desinfecção com Hipoclorito de Sódio	68
1.7.1. Manuseamento das Areias Removidas nas ETAR.....	68
1.7.2. Desinfecção com Hipoclorito.....	71

2. Objectivos.....	75
3. Plano Experimental	77
4. Materiais e Métodos.....	79
4.1. Caracterização da ETAR de Sesimbra	79
4.1.1. Localização da ETAR e Requisitos do Efluente Final	79
4.1.2. Dados Base	81
4.1.3. Etapas do Tratamento	82
4.1.3.1. Fase Líquida.....	82
4.1.3.2. Fase Sólida.....	85
4.1.3.3. Tratamento de Odores – Desodorização	86
4.1.4. Operação de Desarenação e Classificação das Areias	86
4.1.4.1. Extração de Areias da Obra de Entrada.....	87
4.1.4.2. Extração de Areias do Sedipac 3D®	87
4.1.4.3. Classificador de Areias	88
4.2. Caracterização das Areias.....	92
4.3. Análise Granulométrica.....	94
4.3.1. Amostragem e Redução da Amostra.....	94
4.3.2. Preparação da Amostra	95
4.3.3. Método Experimental.....	96
4.3.3.1. Preparação dos Provetes	98
4.3.3.2. Procedimento do Ensaio	98
4.3.4. Cálculos	99
4.3.5. Validação dos Resultados	100
4.4. Determinação do Coeficiente de Permeabilidade	101

4.5. Ensaio com o Hipoclorito de Sódio: doses e tempos de contacto diferentes	102
5. Resultados	107
5.1. Ensaaios com o Hipoclorito de Sódio	107
5.2. Análise Granulométrica	109
5.2.1. Validação dos Ensaios	110
5.2.2. Máxima e Mínima Dimensão do Agregado	111
5.2.3. Módulo de Finura	111
5.2.4. Percentagem de Finos	112
5.2.5. Classificação do Tipo de Solo com base na Granulometria	112
5.3. Coeficiente de Permeabilidade	113
6. Discussão dos Resultados	115
6.1. Desinfecção com Hipoclorito de Sódio das Areias Removidas na ETAR de Sesimbra	115
6.2. Avaliação de Potenciais Riscos para a Saúde Pública e para o Ambiente	120
6.3. Aterro Sanitário	130
6.4. Almofadas de Assentamento	133
6.5. Estradas: terraplenagens e pavimentação	134
6.6. Construção Civil: betão e argamassas	138
6.7. Aspectos a Considerar na Análise Técnico-Económica	152
7. Conclusões e Perspectivas Futuras	155
8. Referências Bibliográficas	159
Anexos	167

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Distribuição da água no planeta.	1
Figura 1.2 – Ciclo hidrológico (United States Geological Survey, 2007).	2
Figura 1.3 – Ciclo urbano da água.	3
Figura 1.4 – Gestão sustentável dos recursos hídricos (AEA, 2000).	5
Figura 1.5 – Componentes que contribuem para estabelecer o preço da água (Despacho n.º 2339/2007, de 14 de Fevereiro).	8
Figura 1.6 - Esquema de uma linha de tratamento convencional de águas residuais.	15
Figura 1.7 - Localização da operação de desarenação na linha de tratamento das águas residuais..	27
Figura 1.8 – Sedimentação num tanque ideal (ALVES, 2005).	28
Figura 1.9 – Vista em corte longitudinal de um desarenador de fluxo horizontal (CORBITT, 1998).	30
Figura 1.10 – Desarenador com arejamento de fluxo em espiral (METCALF & EDDY, 2003).	31
Figura 1.11 – Desarenador tipo ciclone (Huber Technology, 2007).	32
Figura 1.12 – Exemplo da aplicação de um desarenador tipo ciclone na obra de entrada (Huber Technology, 2007).	33
Figura 1.13 – Classificador de areias COANDA ROSF 3 (Huber Technology, 2007).	34
Figura 1.14 – Classificador de areias SPECO, modelo DS (Interagua, 2007).	34
Figura 1.15– Sistema de impermeabilização basal de um aterro para RSU.	47
Figura 1.16 – Selagem final do aterro.	49
Figura 1.17 – Vala aberta com almofada de assentamento em areia para instalação de tubagem. ...	50
Figura 1.18 – Zonas que constituem o perfil transversal em aterro (QUARESMA, 2006).	52
Figura 1.19 – Camadas constituintes do pavimento (QUARESMA, 2006).	54
Figura 1.20 – Curva granulométrica da areia de referência CEN, com identificação da área proporcional ao módulo de finura.	64

Figura 1.21– Formação de uma molécula de trihalometano por reacção de substituição de um alcano com cloro (SOLOMONS e FRYHLE, 2000).....	74
Figura 4.1– Localização da ETAR de Sesimbra (Google Earth, 2007).....	79
Figura 4.2 – Esquema da obra de entrada com o pormenor das tubagens de extracção de areias....	87
Figura 4.3 – Zona de Desarenação do Sedipac 3D®.	88
Figura 4.4 – Classificador de areias da ETAR de Sesimbra.....	88
Figura 4.5 – Corte (A), vista frontal (B) e planta (C) do classificador de areias.....	89
Figura 4.6 – Deposição das areias no contentor de armazenamento.	90
Figura 4.7 – Contentor de armazenamento das areias, antes da recolha da amostra.....	95
Figura 4.8 – Areia preparada para o ensaio granulométrico.....	95
Figura 4.9 – Redução da amostra, para preparação dos provetes, utilizando esquartelador.	98
Figura 4.10 – Pesagem da areia retida num dos peneiros no decorrer do ensaio.	99
Figura 5.1 – Curva granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra.....	110
Figura 6.1 – Resultados dos ensaios com hipoclorito de sódio para os coliformes totais e coliformes fecais.	115
Figura 6.2 – Resultados dos ensaios com hipoclorito de sódio para o carbono orgânico total.	117
Figura 6.3 – Resultados dos ensaios com hipoclorito de sódio para os compostos orgânicos halogenados adsorvíveis (AOX).	119
Figura 6.4 – Curvas granulométricas da areia removida na ETAR de Sesimbra e da areia de referência CEN.	142
Figura 6.5 – Curvas granulométricas da areia removida na ETAR de Sesimbra e da areia de Rio...	144

Índice de Quadros

Quadro 1.1 – Volume consumido, custos efectivos e oportunidade de poupança por sector (Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005, de 30 de Junho).....	9
Quadro 1.2 – Características das Águas Residuais Domésticas (QASIM, 1999).	12
Quadro 1.3 – Níveis de tratamento de águas residuais (METCALF & EDDY, 2003).....	15
Quadro 1.4 – Características do material gradado (AMARAL, 2006).	16
Quadro 1.5 – Subprodutos gerados ao longo das operações e processos de um tratamento convencional da fase líquida.	20
Quadro 1.6 – Legislação nacional em vigor para as águas residuais urbanas e para a utilização agrícola de lamas de ETAR.....	23
Quadro 1.7 – Requisitos de descarga das Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas (Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho e do Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de Novembro).....	25
Quadro 1.8 – Quantidades de areias removidas das ARU em sistemas unitários e em sistemas mistos (METCALF & EDDY, 2003).....	26
Quadro 1.9 – Principais tipos de desarenadores.	29
Quadro 1.10 – Parâmetros de dimensionamento para desarenadores de fluxo horizontal (METCALF & EDDY, 2003).	30
Quadro 1.11 – Características de dimensionamento de desarenadores com arejamento (METCALF & EDDY, 2003).	31
Quadro 1.12 – Características de dimensionamento de um desarenador tipo ciclone (METCALF & EDDY, 2003).	32
Quadro 1.13 – Destino final dado às areias removidas nas ETAR de alguns sistemas Municipais e Multimunicipais, em Portugal.	35
Quadro 1.14 – Entidades contactadas e produção de areias por entidade no ano de 2006.	36
Quadro 1.15 – Quantitativos relativos a areias removidas de águas residuais urbanas.....	37
Quadro 1.16 – Produção estimada de areias removidas nas ETAR em 2006, a nível nacional.....	38

Quadro 1.17 – Produção de areias e caudal médio de ARU anual, mensal e diário.....	38
Quadro 1.18 – Custo da deposição das areias em aterro, a nível nacional e na ETAR de Sesimbra, referente ao ano de 2006.	39
Quadro 1.19 – Composição física média dos RSU (Instituto dos Resíduos, 2007).	41
Quadro 1.20 – Requisitos dos materiais para cada zona de aterro (ROQUE, 2007).	53
Quadro 1.21 – Composição do betão (COUTINHO, 1997 ₂).	57
Quadro 1.22 – Parâmetros microbiológicos para areias balneares (BRANDÃO <i>et al.</i> , 2007).....	70
Quadro 1.23– Valores máximos recomendados, novos valores máximos recomendados e valores máximos admissíveis para areias balneares (BRANDÃO <i>et al.</i> , 2007).....	70
Quadro 3.1 – Plano Experimental.	77
Quadro 3.2 – Concentração de hipoclorito de sódio e tempo de contacto para cada ensaio da Fase A do Plano Experimental.	77
Quadro 4.1 – Parâmetros e valores limite a respeitar pelo efluente final da ETAR de Sesimbra (Licença de Descarga e SIMARSUL, S. A., 2004).	80
Quadro 4.2– Resultados das análises do efluente final durante os dois primeiros trimestres de 2007.	81
Quadro 4.3 – Condições de Afluência no ano 0 e no ano HP (SIMARSUL, S. A., 2001 ₁).	81
Quadro 4.4 – Principais características do classificador de areias (SIMARSUL, S. A., 2001 ₂).	89
Quadro 4.5 – Tempos de retenção estimados das areias no classificador de areias.	91
Quadro 4.6 – Resultados das análises das areias removidas em duas ETAR.....	93
Quadro 4.7 – Séries de peneiros usados no ensaio e suas características (ASTM, 1987 e IPQ, 2000 ₂).	97
Quadro 4.8 – Parâmetros a analisar ao resíduo e ao eluato de cada amostra.	103
Quadro 4.9 – Planificação das etapas do ensaio.	104
Quadro 5.1 – Resultados do ensaio em branco referentes à análise sobre o resíduo.	107
Quadro 5.2 – Resultados do ensaio em branco referentes à análise sobre o eluato.	108

Quadro 5.3– Resultados dos coliformes totais e fecais, COT e AOX das amostras.....	109
Quadro 5.4– Resultados da análise granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra. .	109
Quadro 5.5 – Validação dos ensaios granulométricos.	110
Quadro 5.6 – Parâmetros usados no cálculo da percentagem de finos.....	112
Quadro 5.7 – Dimensões para a classificação do tipo de solo (ASTM, 1985).	113
Quadro 6.1 – Parâmetros das areias removidas na ETAR de Sesimbra que não cumprem os critérios de admissão estabelecidos para a classe de aterros para inertes.....	121
Quadro 6.2 – Parâmetros a analisar na aplicação das lamas de ETAR em solo agrícola e respectivos resultados das areias removidas na ETAR de Sesimbra.	124
Quadro 6.3 – Valores limite de emissão estabelecidos para a descarga de águas residuais na água e no solo, e dos resultados da análise ao eluato das areias removidas na ETAR de Sesimbra.	126
Quadro 6.4 – Parâmetros microbiológicos para as lamas de classe A e B e para as areias removidas na ETAR de Sesimbra (METCALF & EDDY, 2003).	127
Quadro 6.5 – Requisitos exigidos para cada aplicação em aterro sanitário (Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, LEVY e CABEÇAS, 2006 e KNOCHENMUS e WOJNAROWICZ, 1998).....	131
Quadro 6.6 – Verificação dos requisitos gerais da granulometria exigidos pela NP EN 12620:2003 para areias.	141
Quadro 6.7 – Verificação da conformidade dos requisitos geométricos e de outras características granulométricas das areias, essenciais para sua aplicação no fabrico do betão.....	147

1. INTRODUÇÃO

1.1. ÁGUA, UM RECURSO CADA VEZ MAIS ESCASSO

A água é um bem precioso e insubstituível, imprescindível à vida na Terra tal como a conhecemos hoje. É um recurso natural que proporciona saúde, conforto e riqueza ao Homem por meio dos seus incontáveis usos, dos quais têm particular relevância o abastecimento de água às populações, a irrigação, a produção de energia, o lazer e a navegação, sendo um recurso fundamental para o desenvolvimento económico.

Este elemento assume ainda funções básicas, como por exemplo: biológica, na constituição de células animais e vegetais; natural, como meio de vida e elemento integrante dos ecossistemas; técnica, aproveitada pelo Homem como um factor de produção recorrendo às suas propriedades hidrostáticas, hidrodinâmicas, termodinâmicas, entre outras; e simbólica, como valor cultural e social.

Actualmente ainda domina uma cultura de desperdício de água uma vez que este recurso é visto como ilimitado, associando-se a quantidade de água disponível para consumo à água que existe efectivamente no nosso planeta.

Cerca de 97 % da água total existente no planeta está concentrada nos oceanos e portanto, apenas 3 % constituem a reserva de água doce que se encontra nos continentes. Desses 3 % da água dos continentes, 99 % concentra-se nas calotes polares, nos glaciares e no subsolo (aquíferos), distribuindo-se a parcela restante (1 %) por lagos e pântanos, rios, zona superficial do solo e biosfera. A água existente na atmosfera, cerca de 0,013 %, é quantitativamente insignificante (INAG, 2003).

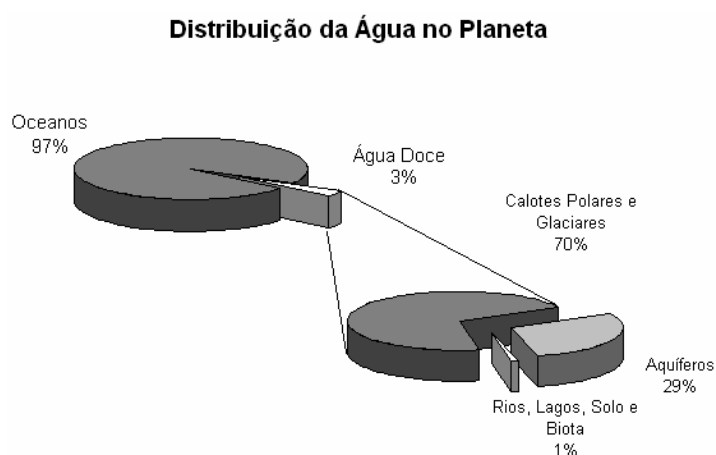


Figura 1.1 – Distribuição da água no planeta.

1.1.1. Ciclo Hidrológico

A água na Terra está em constante movimento e o ciclo hidrológico, também conhecido por ciclo natural da água, descreve esse movimento contínuo em que a água, através das suas diferentes fases, circula entre os oceanos, os continentes e a atmosfera. É graças a este ciclo que a água doce é considerada um recurso renovável, característica decisiva para a sua gestão.

Pode definir-se o ciclo hidrológico como a sequência fechada de fenómenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera, e regressa àquele, nas fases líquida e sólida, sendo mantido pela energia solar e pela gravidade.

A água é transferida da superfície da Terra para a atmosfera sob a forma de vapor, através da evaporação directa e por transpiração. O vapor de água acumulado na atmosfera, em certas condições, dá origem à precipitação: chuva, neve, orvalho e geada. Parte da precipitação é evaporada durante a queda voltando imediatamente à atmosfera (LENCASTRE e FRANCO, 2003).

A água que precipita sobre os continentes pode tomar vários destinos. Uma parte da precipitação evapora, outra origina escoamento superficial e outra infiltra-se no solo. O escoamento superficial vai conduzir a água proveniente da precipitação a rios ou lagos, ou mesmo ao mar, onde ocorre evaporação superficial das massas de água, voltando ao estado de vapor. A água que se infiltra no solo pode voltar à atmosfera por evapotranspiração, ou se se infiltrar ou percolar em profundidade pode atingir os aquíferos, constituindo o escoamento subterrâneo (INAG, 2003).



Figura 1.2 – Ciclo hidrológico (United States Geological Survey, 2007).

Segundo SANTOS (2001), o facto de a qualidade da água variar à medida que esta é transferida entre as várias componentes do ciclo hidrológico, é determinante no processo de planeamento dos recursos hídricos. Embora a variação da qualidade possa dever-se a questões naturais, são as situações de poluição as que colocam com mais frequência problemas em termos de disponibilidade de água devido a questões de qualidade.

1.1.2. Ciclo Urbano da Água

O ciclo urbano da água, ou ciclo artificial, traduz a utilização que o Homem faz da água que se encontra disponível na natureza, nomeadamente para consumo doméstico, agrícola, industrial, produção de energia e respectiva descarga de efluentes nos meios hídricos.

A água é captada na origem, aduzida, tratada numa estação de tratamento de água (ETA) ou num ponto de cloragem (PC), armazenada e posteriormente distribuída na rede de distribuição de água, chegando aos diversos pontos de consumo (habitações, comércio, indústria, etc.). Depois de utilizada, a água é rejeitada entrando no sistema de drenagem de águas residuais, sendo conduzida a uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR), e posteriormente devolvida ao meio receptor.



Figura 1.3 – Ciclo urbano da água.

Sendo a água um recurso renovável, era de esperar que a quantidade de água doce disponível hoje fosse igual à que existia nos primórdios da humanidade, mas tal não se verifica. A interferência do Homem no ciclo da água, nomeadamente através da poluição dos meios hídricos, levou, e continua a levar, a uma diminuição dessa quantidade disponível.

Este ciclo interfere com o ciclo hidrológico uma vez que lhe são, por um lado, subtraídos recursos hídricos, e por outro, devolvidos com uma qualidade nem sempre adequada ao meio receptor. Além disso, a impermeabilização dos solos onde se encontra implantada a malha urbana diminui significativamente a capacidade de infiltração de água no solo, e altera o seu escoamento natural.

Conclui-se pois que o ciclo urbano da água está estritamente dependente do ciclo hidrológico, e ambos devem coexistir em perfeito equilíbrio, quer numa vertente quantitativa, quer numa vertente qualitativa. Este deverá ser o primeiro objectivo e o último de qualquer abordagem de gestão de recursos hídricos.

1.1.3. Escassez da Água

Na Carta Europeia da Água, proclamada em Estrasburgo em 1968, já se encontra a referência à água como um bem precioso e como um recurso limitado, que deve ser preservado e utilizado racionalmente. Identifica as pressões então exercidas sobre os recursos hídricos – o crescimento da população, a agricultura e a indústria – e aponta para a necessidade de uma política dos recursos hídricos tendo em vista a sua conservação, regularização e distribuição. Destaca ainda o dever de protecção das águas contra a poluição, com particular relevância para o tratamento das águas residuais, antes de devolvidas ao ambiente. É preocupante como, quarenta anos depois de proclamada, o seu conteúdo se mantém tão actual.

Desde 1968 até hoje verificou-se uma evolução na disponibilidade dos recursos hídricos: a escassez de água doce acentuou-se, tanto em termos quantitativos como qualitativos. Não é por acaso que o lema escolhido pelas Nações Unidas para comemorar o Dia Mundial da Água de 2007 é “Enfrentando a Escassez da Água”.

A escassez da água é hoje reconhecida como uma das maiores ameaças à saúde humana, ao ambiente e à disponibilidade global de alimentos, assim como à paz em várias zonas do globo (SANTOS, 2001). É evidente a relação de dependência entre as disponibilidades de água e o desenvolvimento social e económico. Esta dependência, aliada ao facto da água ser um recurso limitado e indispensável, sendo irregularmente distribuído, origina tensões, e quanto mais escasso for este recurso, maior serão as tensões geradas a nível local e mundial.

O problema da água, do seu uso e da gestão dos recursos hídricos disponíveis, não é só um problema meramente quantitativo, é também um problema qualitativo. “Qualquer avaliação da disponibilidade e, portanto, da sustentabilidade da utilização dos recursos hídricos, deve considerar não só o volume disponível, como também a qualidade. Uma qualidade deficiente reduzirá a disponibilidade aparente dos recursos hídricos.” (AEA, 2000)

A água é hoje o recurso natural mais estratégico de qualquer país no mundo. A par desta situação, as questões relacionadas com o direito de propriedade, a gestão da água como bem público de livre acesso, a subvalorização do custo da água e a existência de externalidades que não se reflectem no preço praticado, têm sido factores decisivos para um modelo de gestão que não promove a utilização racional e a economia deste recurso, contribuindo para a sua escassez. É necessário pois procurar alternativas que possam aumentar a oferta, como por exemplo a reutilização de águas residuais tratadas (SANTOS, 2001).

Segundo a Carta Europeia da Água cada indivíduo é um consumidor e um utilizador da água. Como tal é responsável perante os outros, sendo o desperdício considerado um abuso do património natural. É portanto imperativo que a atitude de cada um – e de todos – mude perante o cenário de escassez deste recurso, preservando-o tanto em quantidade como em qualidade.

1.1.4. Protecção e Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos

Em todo o Mundo, na Comunidade Europeia, e em Portugal em particular, a água encontra-se sujeita a uma pressão crescente, devido ao contínuo aumento da procura de quantidades suficientes de águas de boa qualidade para diversos fins. Para que se consiga gerir de modo sustentável os recursos hídricos é necessário primeiro analisar as causas e as consequências (Figura 1.4).

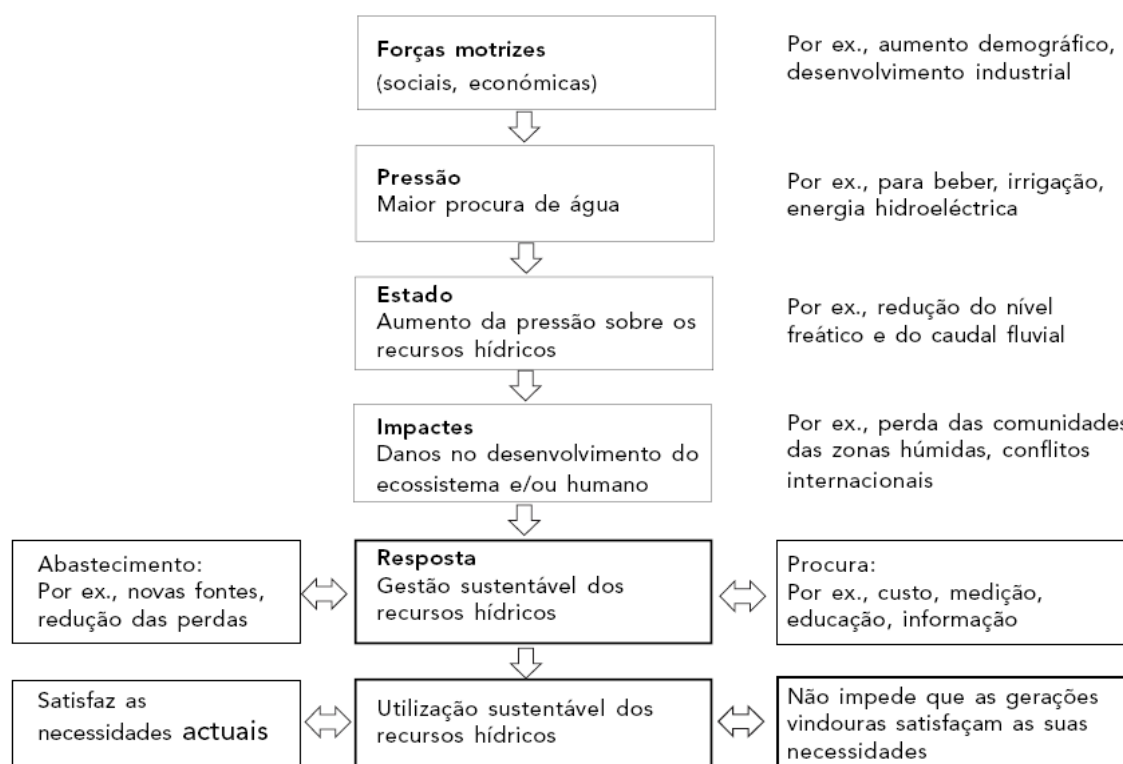


Figura 1.4 – Gestão sustentável dos recursos hídricos (AEA, 2000).

Foi neste contexto que nos últimos anos têm sido desenvolvidos um número considerável de diplomas, comunitários e nacionais, com o intuito de por um lado travar a pressão que se faz sentir sobre os recursos hídricos, e por outro, elaborar um conjunto de instrumentos e medidas que promovam o desenvolvimento sustentável, com especial enfoque na preservação destes recursos.

Embora já existisse legislação relacionada com a protecção e gestão dos recursos hídricos, nomeadamente a Directiva n.º 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio, relativa ao tratamento das águas residuais urbanas, visando a protecção do ambiente dos efeitos adversos das descargas dessas águas, foi com a Directiva n.º 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água – Directiva Quadro da Água (DQA), que este tema ganhou maior projecção no desenvolvimento de políticas e instrumentos que ajudem a atingir os objectivos propostos nesse diploma.

Outro diploma com particular relevância, este de âmbito nacional anterior à DQA, é o Decreto-Lei n.º 45/94, de 22 de Fevereiro, que regula o processo de planeamento de recursos hídricos e a elaboração e aprovação dos planos de recursos hídricos. Este diploma impulsionou a elaboração do Plano Nacional da Água (PNA) e dos Planos de Bacia Hidrográfica (PBH), cujo planeamento assentou nos princípios de globalidade, racionalidade, integração, participação e estratégia. Os prazos estipulados no referido diploma para concluir o PNA e os PBH foram largamente excedidos, tendo sido entretanto aprovada a DQA a qual viria a estabelecer linhas de acção que posteriormente foram integradas no PNA.

A DQA, transposta para a ordem jurídica nacional pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água), constitui o desenvolvimento da Política Comunitária para o ambiente, visando a prevenção, protecção e melhoria da qualidade do ambiente, a protecção da saúde humana e a utilização racional e prudente dos recursos naturais. Estabelece os princípios básicos de uma política sustentável da água, apostando na protecção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas. Este diploma estabelece ainda o princípio da Região Hidrográfica como unidade principal de planeamento, e o princípio da amortização dos custos dos serviços hídricos, considerando o princípio do poluidor-pagador. A participação e informação do público em geral são também contempladas por contribuírem para um público mais informado e mais consciente das suas acções, tornando-o progressivamente mais sensível às questões ambientais, em particular ao uso sustentável dos recursos hídricos, conduzindo, progressivamente, a uma mudança de hábitos e mentalidades.

Desde a aprovação da DQA até à aprovação da Lei da Água, foram desenvolvidos a nível nacional outros diplomas no domínio dos recursos hídricos, que já tinham em consideração os aspectos abordados na DQA, com particular relevância para o PNA e o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais para o período de 2000-2006 (designado por PEAASAR I).

O PNA, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 112/2002, de 17 de Abril, foi elaborado de acordo com o já referido Decreto-Lei n.º 45/94 e a DQA. É um plano sectorial que assenta numa abordagem conjunta e interligada de aspectos técnicos, económicos, ambientais e institucionais, estabelecendo de forma estruturada uma estratégia nacional de gestão e utilização de todos os recursos hídricos nacionais, em articulação com o ordenamento do território e a conservação e protecção do ambiente.

As principais pressões sobre os recursos hídricos identificadas prendiam-se com as actividades humanas que acompanham a distribuição da população e das actividades económicas, e com a distribuição das actividades económicas relevantes para a gestão dos recursos hídricos, nomeadamente a agricultura de regadio, o abastecimento às populações, a indústria, o turismo e a produção de energia eléctrica (Decreto-Lei n.º 112/2002, de 17 de Abril).

O panorama nacional não era de todo coerente com os princípios da DQA e de outros documentos relativos à protecção e gestão sustentável dos recursos hídricos. Segundo o PEAASAR para o

período de 2007-2013 (designado por PEAASAR II), em 2001 o incumprimento da Directiva n.º 91/271/CEE era da ordem dos 38 %, tendo sido reduzido em 2004 para cerca de 16 %. Contudo, embora insuficiente, é notória uma melhoria da qualidade dos recursos hídricos. Essa melhoria deve-se em grande parte ao investimento em infra-estruturas de recolha e tratamento de efluentes, preconizado pelo PEAASAR I, que contou com financiamento do Fundo de Coesão.

O PEAASAR I, aprovado em 2000, estabelecia metas então para os níveis de atendimento (95 % para abastecimento e 90 % para drenagem e tratamento de águas residuais), com o objectivo de melhorar significativamente a qualidade dos recursos hídricos, nomeadamente, através do saneamento das águas residuais, diminuindo substancialmente a carga poluente das mesmas. Mas as metas estabelecidas viriam a revelar-se demasiado ambiciosas para o período em questão. Em parte porque, aquando da elaboração do plano, não havia um conhecimento da situação real do País.

No balanço feito pelo PEAASAR II relativamente ao PEAASAR I, os níveis de atendimento relativamente a águas de abastecimento (A.A.) e ao saneamento de águas residuais (A.R.), nos sistemas em alta foram próximos dos estabelecidos (93 % para A.A. e 89 % para A.R.), o mesmo não acontece com os sistemas em baixa (93 % para A.A. e 76 % para A.R.). Contudo, tendo em consideração a falta de infra-estruturas de abastecimento de água, de saneamento e tratamento de águas residuais, e o estado de funcionamento das existentes, aquando a aprovação do PEAASAR I, o balanço final é claramente positivo.

Em 2005, com a aprovação da Lei da Água, que consolida de forma sistematizada a vasta legislação dispersa aplicável ao sector das águas, constituindo um importante e inédito instrumento de sistematização de enorme relevo no ordenamento jurídico do País, é dado um grande passo na legislação nacional referente à protecção e gestão sustentável dos recursos hídricos. É criado um sistema único para a gestão sustentável das águas obrigando a uma reformulação completa do regime de utilização de tais recursos, que passa a estar sob a égide de uma única Autoridade Nacional.

Actualmente uma das questões principais no domínio dos recursos hídricos é o regime económico-financeiro deste sector. No PEAASAR I era definida uma política tarifária, definindo-se uma tarifa de serviços, a qual, segundo o balanço feito no PEAASAR II, ficou muito aquém do que seria a cobertura dos custos, principalmente na vertente em «baixa». Os preços praticados, muito inferiores aos custos efectivos, estão em clara dissonância com os princípios de recuperação integral (ou até mesmo substancial) dos custos, pondo em causa a viabilidade e a sustentabilidade futura destes serviços.

O sistema tarifário aplicado em Portugal está a pôr em risco a sustentabilidade económica e financeira do sector. O valor do défice tarifário revela a falta de convergência entre os custos associados à prestação dos serviços e as receitas obtidas. Os preços praticados por não reflectirem o custo real não incentivam os consumidores a utilizar eficazmente a água (FONSECA, 2007). O facto

de o preço cobrado ser reduzido e o investimento nas infra-estruturas estar a ser feito pelo Estado, “acentua na opinião pública a ideia de serviços de água gratuitos” (Decreto-Lei n.º 112/2002, de 17 de Abril) e dá “uma falsa ideia de abundância o que, não incentivando a conservação dos recursos, conduz à sua sobreexploração” (SANTOS, 2001). Este tem sido um dos problemas cruciais na gestão dos recursos hídricos.

Com o reconhecimento do valor económico da água e a sua importância para a gestão sustentável dos recursos hídricos, torna-se necessária uma reforma integral do regime económico-financeiro aplicável à utilização das águas. É necessário “assegurar a internalização dos custos decorrentes das actividades susceptíveis de causar um impacto negativo no estado de qualidade e quantidade das águas”, bem como “assegurar a recuperação dos custos das prestações públicas que proporcionem vantagens aos utilizadores ou garantam a qualidade e quantidade das águas utilizadas, neles se incluindo os custos de escassez” (Lei n.º 58/2005, 29 de Dezembro).

A proposta para o novo Regime Económico e Financeiro dos Recursos Hídricos (REFRH), constitui um instrumento de maior importância na concretização dos princípios que dominam a Lei da Água, muito em particular dos apontados princípios de valor social, da dimensão ambiental e do valor económico da água (Figura 1.5).



Figura 1.5 – Componentes que contribuem para estabelecer o preço da água
(Despacho n.º 2339/2007, de 14 de Fevereiro).

Embora estabelecer uma política de preços da água seja um desafio, há que ter presente que os preços praticados “devem constituir um incentivo adequado para uma utilização eficiente dos recursos hídricos, devendo ponderar-se, na sua fixação, as consequências sociais, ambientais e económicas que a recuperação dos custos possa trazer, bem como as condições geográficas e climáticas das regiões em causa. Acima de tudo, as políticas tarifárias a prosseguir no futuro deverão ser fundamentadas numa análise económica sólida das diversas utilizações da água, assente nos princípios do utilizador-pagador e do poluidor-pagador e atenta ao contributo que os diferentes sectores podem, e devem, dar para a recuperação dos custos em jogo. Com este fundamento científico seguro, é possível, e urgente, construir uma política tarifária que transmita ao utilizador sinais de maior racionalidade, levando-o à alteração progressiva dos seus hábitos de consumo” (REFRH, 2006).

O facto de o utilizador tomar consciência do custo da água, do volume que consome e de cada serviço que lhe é prestado, contribui para uma valorização do recurso e dos serviços prestados, conduzindo a uma atitude mais consciente no uso deste recurso, tendendo para uma maximização da eficiência e uma minimização do desperdício.

Com o intuito de dar continuação ao trabalho já desenvolvido com o PEAASAR I, foi aprovado pelo Despacho n.º 2339/2007, de 14 de Fevereiro, o segundo PEAASAR relativo ao período de 2007-2013, que assume como “prioridade incontornável a criação de condições para a cobertura integral dos custos do serviço, como forma de garantir a sustentabilidade do sector enquanto obrigação imperiosa perante as gerações futuras”. Este plano propõe-se a resolver os problemas que persistem, definindo três grandes objectivos estratégicos: universalidade, continuidade e qualidade do serviço; sustentabilidade do sector; e, protecção dos valores de saúde pública e ambientais.

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água – Bases e Linhas Orientadoras (PNUEA), aprovado em 2005, veio contribuir para os objectivos que se pretendem atingir, nomeadamente na redução do consumo, da ineficiência e do desperdício do uso da água, indo ao encontro das linhas de acção estratégica do PNA e dos PEAASAR I e II. Este programa promove o uso eficiente da água em Portugal, especialmente no sector urbano, agrícola e industrial, com o intuito de minimizar os riscos de escassez hídrica e melhorar as condições ambientais nos meios hídricos. Contribui assim para a consolidação de uma nova cultura da água em Portugal, através da qual este recurso seja crescentemente valorizado, tanto pela sua importância para o desenvolvimento humano e económico, como pela preservação e valorização do meio natural, no espírito do conceito de desenvolvimento sustentável.

O uso eficiente da água constitui um forte potencial de poupança, financeiro e ambiental, uma vez que reduz as necessidades de captação e consumo e, consequentemente, a diminuição das águas residuais afluentes aos meios hídricos e o consumo de energia. Embora o sector que consome maior volume de água seja o sector agrícola, é o sector urbano que proporciona um maior potencial de poupança (Quadro 1.1) (Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005, de 30 de Junho).

Quadro 1.1 – Volume consumido, custos efectivos e oportunidade de poupança por sector
(Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005, de 30 de Junho).

		Abastecimento de Água às Populações	Agricultura	Indústria
Volume Consumido (%)		8	87	5
Custos Efectivos de Utilização (%)		46	28	26
Oportunidades de Poupança da Água	Volume (%)	8	88	4
	Custos (%)	51	30	19

A nível nacional cerca de 39 % do valor global estimado para a procura de água corresponde à ineficiência, ou seja, ao potencial de poupança. Este valor representa 0,64 % do Produto Interno Bruto Nacional. Pelo que o uso eficiente da água representa vários interesses económicos, quer a nível nacional, empresarial, das entidades gestoras da água ou mesmo dos cidadãos, contribuindo ainda para a satisfação das obrigações do País em termos de legislação comunitária (Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005, de 30 de Junho).

A aplicação do PNUEA a nível individual e colectivo vai permitir utilizar menos água para conseguir os mesmos objectivos, maximizando a eficiência e a eficácia e reduzindo as perdas e desperdícios, reflectindo-se na diminuição dos custos e na preservação dos recursos hídricos.

Este é o panorama actual a nível nacional sobre os recursos hídricos e a forma como a preocupação com a sua protecção e gestão sustentável tem vindo a evoluir. Embora haja ainda muito a fazer é necessário ter em conta o que já foi feito e o esforço que exige mudar este panorama.

Os diplomas, comunitários e nacionais, identificam os problemas existentes, definem objectivos, estabelecem metas, delineiam medidas, elaboram instrumentos, para que cada um, e todos, possam contribuir para o desafio que se impõe para preservar e gerir, de forma sustentável, os recursos hídricos, evitando os piores cenários onde a própria vida humana é posta em causa.

É necessária pois a adesão geral das comunidades aos objectivos e aos princípios a eles subjacentes, pelo que se torna imprescindível a consciencialização de políticos, técnicos e da população em geral para os problemas da água (INAG, 2003).

1.1.5. As Alterações Climáticas e os Recursos Hídricos

Ao desafio que é a protecção e gestão sustentável dos recursos hídricos vem juntar-se o aquecimento global, cujos impactes são já considerados evidentes pela ocorrência mais frequente de episódios meteorológicos extremos, secas e cheias em determinadas regiões e degelo das calotes polares (AEA, 2005).

O fenómeno das alterações climáticas é considerado como o maior desafio global do séc. XXI. Segundo CUNHA *et al.* (2006) têm impactes directos no regime de ocorrência e disponibilidade dos recursos hídricos condicionando, por sua vez e de forma importante, uma multiplicidade de factores da actividade económica e social. Na realidade, a disponibilidade da água de qualidade adequada e a ocorrência de fenómenos extremos relacionados com a água – as cheias e as secas – condicionam a localização dos aglomerados urbanos, das áreas industriais e agrícolas, dos centros de produção de energia e das actividades comerciais.

Segundo os mesmos autores, em Portugal Continental, tal como em muitas outras regiões, os recursos hídricos têm uma distribuição bastante irregular, tanto no tempo como no espaço. Esta irregularidade é a causa de muitos problemas que se levantam na gestão dos recursos hídricos, e é responsável por muitas situações de stress hídrico que são susceptíveis de ocorrer. As alterações climáticas poderão contribuir para um agravamento ou para uma atenuação destas situações, afectando tanto a oferta como a procura de água.

“Os impactes das alterações climáticas sobre os recursos hídricos podem ser directos, quando resultam directamente das alterações climáticas, ou indirectos, quando resultam de modificações do sistema económico-social induzidas pelas alterações climáticas.” (CUNHA *et al.*, 2006)

“As previsões disponíveis sobre os efeitos de alterações climáticas no nosso país sugerem um aumento da temperatura média anual entre 3 °C a 4 °C e uma diminuição da precipitação média anual entre 10 % e 20 %.” (Decreto-Lei n.º 112/2002, de 17 de Abril) Por um lado, provavelmente, irá aumentar a frequência e a magnitude de situações de cheia devido à concentração da precipitação no Inverno, por outro a diminuição do escoamento irá contribuir para um aumento dos problemas ocasionados pelas secas (CUNHA *et al.*, 2006). Além disso, o facto de a precipitação diminuir e a evapotranspiração aumentar leva a uma diminuição do escoamento e da recarga de aquíferos e, consequentemente, das disponibilidades de água (Decreto-Lei n.º 112/2002, de 17 de Abril).

Além dos impactes que as alterações climáticas podem ter na quantidade total de águas superficiais e subterrâneas disponíveis, na sua distribuição no espaço e no tempo, e nas condições de ocorrências de cheias e secas, pode ainda afectar a qualidade da água (CUNHA *et al.*, 2006).

“No que respeita aos impactos das alterações climáticas sobre a qualidade da água, deve ter-se presente que esta pode vir a degradar-se em consequência de uma subida da temperatura que provocará alterações dos processos bioquímicos nos meios hídricos e um decréscimo do teor de oxigénio dissolvido na água. No entanto, a redução do volume do escoamento onde são rejeitadas as cargas poluentes, igualmente decorrente das alterações climáticas, pode, eventualmente, constituir o factor mais importante, ampliando o efeito directo do aumento da temperatura na qualidade da água.” (CUNHA *et al.*, 2006)

É forçoso reconhecer que as alterações climáticas vêm condicionar as práticas prevalecentes de gestão de recursos hídricos, introduzindo incertezas adicionais e impondo a necessidade de reforço da capacidade de adaptação dos sistemas hídricos às alterações climáticas.

1.2. TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

As águas residuais urbanas (ARU) são definidas na Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas, como as águas residuais domésticas ou a mistura de águas residuais domésticas com águas industriais e/ou águas de escoamento pluvial. Estas águas constituem a segunda parte do ciclo urbano da água – a rejeição das águas após o seu uso nos pontos de consumo (Figura 1.3).

As águas residuais contêm, entre muitas outras substâncias, nutrientes e microrganismos patogénicos, podendo ainda conter compostos tóxicos ou compostos potencialmente mutagénicos ou cancerígenos. Os nutrientes, especialmente o azoto e o fósforo, podem estimular o crescimento excessivo das plantas aquáticas, provocando a eutrofização e a degradação da qualidade das massas de água. Por outro lado, os microrganismos patogénicos e a presença de compostos tóxicos ou potencialmente mutagénicos ou cancerígenos constituem um problema de saúde pública. Por estas razões torna-se essencial a drenagem e o tratamento destas águas, de modo a proteger as populações e o ambiente (METCALF & EDDY, 2003).

As características das ARU variam muito. Além de dependerem de vários factores, são a junção de águas residuais domésticas com águas industriais e/ou com águas pluviais, o que torna difícil a sua caracterização. Entre as várias características das ARU destaca-se a presença de microrganismos, os quais, na sua maioria, são benéficos para os processos biológicos de tratamento. Contudo existem também microrganismos patogénicos que provocam doenças como o tétano, hepatite, cólera, gastroenterite, entre outras. No Quadro 1.2 apresentam-se valores típicos das características das águas residuais domésticas.

Quadro 1.2 – Características das Águas Residuais Domésticas (QASIM, 1999).

Características	Unidades	Intervalo	Valor Típico
Cor	-	-	Cinzento-preto
Odor	-	-	Podre devido aos sulfitos
pH	-	6,7-7,5	7,0
SST	mg/L	120-360	230
CBO ₅	mg/L	110-400	210
CQO	mg/L	200-780	400
COT	mg/L	80-290	150
Azoto Total	mg/L	20-85	40
Fósforo Total	mg/L	4-8	6
Coliformes Fecais	NMP/100mL	10 ⁵ -10 ⁸	-

Actualmente, tendo em conta o conhecimento existente face às consequências ambientais e de saúde pública, a necessidade de preservação do ambiente, em particular dos recursos hídricos, e a diversidade de tecnologias disponíveis, não é de todo aceitável a contaminação dos meios hídricos por descarga de efluentes não tratados.

No entanto, e apesar desse conhecimento, a realidade é que as descargas de ARU não tratadas continuam a acontecer ilegalmente no nosso país. Muitos dos meios hídricos nacionais continuam ainda a sofrer os efeitos das descargas ilegais, mesmo havendo legislação, fiscalização, planeamento e financiamento disponível para infra-estruturas de despoluição (SANTANA, 2007₁). Exemplos recentes desta situação são as 670 descargas ilegais detectadas na Grande Lisboa pela SIMTEJO – Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão (DUARTE, 2007), e a descarga directa de ARU não tratadas provenientes da aldeia da Comporta e de metade do município de Alcácer do Sal, no estuário do Sado (GOMES, 2007).

Se considerarmos a captação de água como o início do ciclo urbano da água, o tratamento das ARU e a sua devolução ao meio é o seu fecho, permitindo que o ciclo se complete e a quantidade e qualidade dos recursos hídricos sofra o menor impacte possível.

O tratamento das águas residuais tem por objectivo a produção de um efluente com uma qualidade tal que contribua para: a prevenção de doenças e de situações incómodas e indesejáveis (cheiros, insectos, etc.); evitar a contaminação das águas, nomeadamente as de abastecimento e navegação; manter a qualidade da água de modo a preservar a sua função ecológica e os usos balneares e recreativos; e a conservação da qualidade e quantidade da água para futuros usos (SPELLMAN, 2003).

Se a origem de água para abastecimento for de boa qualidade exige menos tratamento e o uso de menos produtos no seu tratamento, como por exemplo o cloro, o que é benéfico para o consumidor e torna o tratamento mais barato. O tratamento das ARU contribui, e muito, para que as águas sejam de boa qualidade, nomeadamente as que são descarregadas em meios onde há captação para posterior abastecimento (SPELLMAN, 2003).

A questão que se coloca à engenharia sanitária e à saúde pública é: qual o nível de tratamento que tem de ser assegurado para garantir a protecção da saúde pública e do ambiente? A resposta a esta questão requer uma análise detalhada das condições e das necessidades locais, da legislação e de regulamentos aplicáveis, e o conhecimento e engenharia baseado em experiências anteriores (METCALF & EDDY, 2003). A qualidade exigida a um efluente que seja descarregado numa massa de água que tenha captações para produção de água para abastecimento, ou numa massa de água considerada sensível, ou ainda a reutilização do efluente, será certamente superior à exigida a um efluente que seja descarregado num meio menos sensível.

1.2.1. Etapas do Tratamento das Águas Residuais Urbanas

Depois de rejeitadas, as ARU são conduzidas (drenadas) até ao local onde vão ser tratadas (depuradas) através da rede de drenagem. Segundo o artigo 116º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais – os sistemas de drenagem podem classificar-se em:

- separativos, constituídos por duas redes de colectores distintas, uma destinada às águas residuais domésticas e industriais e outra à drenagem das águas pluviais ou similares;
- unitários, constituídos por uma única rede de colectores onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais;
- mistos, constituídos pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que parte da rede de colectores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo;
- pseudo-separativos, em que se admite, em condições excepcionais, a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao colector de águas residuais domésticas.

O sistema de drenagem, independentemente do tipo, é constituído por uma rede de colectores, caixas de visita, estações e condutas elevatórias, e um conjunto de órgãos acessórios que asseguram o funcionamento do sistema. A escolha do tipo de sistema é condicionada por diversos factores técnicos e económicos (SOUSA, 2001), e vai influenciar a linha de tratamento da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) e a dimensão dos órgãos. Os sistemas unitários, como recolhem também as águas pluviais, vão conduzir um caudal mais elevado, principalmente no Inverno, e mais irregular, tanto em termos de volume de água como de carga orgânica e inorgânica. Já os sistemas separativos, onde a carga inorgânica tende a ser mais reduzida, vão proporcionar que chegue à ETAR um caudal mais regular a nível de volume de água e de carga orgânica.

Independentemente da linha de tratamento que seja escolhida para a ETAR, há que ter presente que o objectivo do tratamento é a redução da carga poluente até atingir níveis aceitáveis para serem devolvidas ao meio ou serem reutilizadas

Com a evolução científica e tecnológica são desenvolvidos métodos novos e mais sensíveis que detectam “novas” substâncias presentes na água e os seus efeitos biológicos, tornando-as objecto de preocupação (METCALF & EDDY, 2003). É neste contexto que o tratamento de águas residuais está em constante “up grade”, para responder aos avanços da ciência e às preocupações da população. Na Figura 1.6 está representado um esquema de uma linha de tratamento convencional de águas residuais, fase líquida e fase sólida.

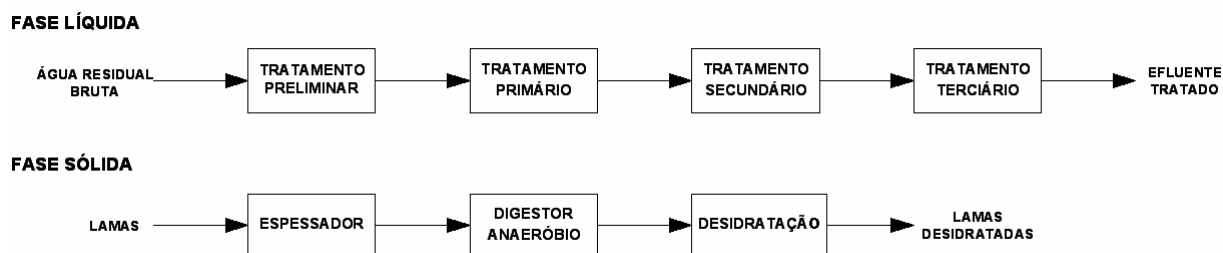


Figura 1.6 - Esquema de uma linha de tratamento convencional de águas residuais.

As substâncias presentes nas ARU são removidas por métodos físicos, químicos e biológicos, vulgarmente designados por operações unitárias. Actualmente as operações e processos são combinados de diversas formas providenciando vários níveis de tratamento – preliminar, primário, secundário ou terciário (METCALF & EDDY, 2003). O nível de tratamento é função da qualidade pretendida para o efluente final.

O tratamento das ARU é concebido de forma a usar os processos naturais de depuração (auto-depuração) potenciando-os ao nível máximo possível, e remover outros contaminantes que não são normalmente alvo nos processos naturais. Engloba uma fase líquida que processa o tratamento do efluente, e uma fase sólida que processa o tratamento dos subprodutos gerados na fase líquida. O Quadro 1.3 sintetiza os diferentes níveis de tratamento que podem constituir a fase líquida, bem como as operações e processos que lhes estão associados.

Quadro 1.3 – Níveis de tratamento de águas residuais (METCALF & EDDY, 2003).

Nível de Tratamento	Descrição	Operações e Processos
Preliminar	Remoção de sólidos grosseiros como trapos, paus, pedras, areia, óleos e gorduras, que possam danificar os equipamentos e os órgãos a jusante.	Gradagem; Desarenação; Homogeneização e armazenamento; Separação de óleos e gorduras;
Primário	Remoção de uma parte dos materiais flotantes e sedimentáveis, nomeadamente sólidos suspensos e matéria orgânica, normalmente por decantação.	Químico: neutralização (adição de reagentes químicos e coagulantes); Físico: Flotação, Decantação, Filtração;
Secundário	Remoção da maioria da matéria orgânica por processos químicos e/ou biológicos. Nos processos em que há formação de flocos é necessária uma nova decantação – decantação secundária – para remoção dos flocos formados que incorporam a matéria orgânica removida. Pode haver remoção química ou biológica de nutrientes (fósforo, azoto, ou fósforo e azoto).	Lamas activadas; Leitos Percoladores; Discos biológicos; Lagoas anaeróbias; Lagoas aeróbias; Lagoas de estabilização; Digestão anaeróbia; Decantação (quando necessária);
Terciário	Remoção adicional de material dissolvido ou suspenso ainda presente após o tratamento secundário, usando combinações de operações e processos. Remoção/inactivação de microrganismos	Coagulação de Decantação; Filtração; Adsorção sobre carvão; Troca iónica; Osmose inversa; Desinfecção.

1.2.1.1. Tratamento Preliminar

Num sistema de tratamento convencional, o tratamento preliminar engloba as operações de gradagem, desarenamento e desengorduramento. As ARU quando chegam à ETAR vêm com uma velocidade elevada, o que lhes permite arrastar consigo sólidos com alguma dimensão, podendo causar danos nos equipamentos e nos órgãos ou afectar a eficiência ou eficácia dos processos seguintes. Para evitar que tal aconteça os sólidos de maiores dimensões são removidos antes do tratamento primário.

A gradagem é uma operação unitária que consiste num canal com uma grade, que pode ser grossa, média ou fina, ou numa combinação de duas ou mais grades de tamanhos diferentes. Para que a remoção seja mais eficiente coloca-se primeiro uma grade grossa ou média, seguida de uma grade fina. Nestas grades vão ser retidos materiais mais grosseiros que vão introduzir uma perda de carga devido à colmatção, sendo necessário proceder à sua limpeza manual ou mecânica. Os sólidos retidos nesta primeira operação constituem o primeiro subproduto gerado no tratamento de ARU – os gradados.

Quadro 1.4 – Características do material gradado (AMARAL, 2006).

Características	Valor
Peso volúmico (kg/m ³)	650 - 950
Teor em água (%)	70 – 90
Produção de gradados (m ³ de gradados/10 ⁶ m ³ de ARU afluente)	3,5 - 80

Na obra de entrada é comum haver dois canais, um com uma grade fina de limpeza automática, e outro com uma grade grossa ou média de limpeza manual. Normalmente está em funcionamento a grade fina, mas quando esta tem de ser posta fora de serviço para manutenção ou reparação, o afluente é desviado para o canal da grade grossa ou média

A desarenação é feita depois da gradagem e antes do tratamento primário, de modo a retirar as areias que são arrastadas com as águas residuais. Pode estar associado ao desarenador o processo de remoção de óleos e gorduras (desengorduramento). Nestas operações são gerados dois subprodutos, as areias e as gorduras, que, antes de serem depositadas em contentores para posterior eliminação, passam respectivamente pelo classificador de areias e pelo concentrador de gorduras.

A operação de desarenação, dada a relevância que assume no âmbito desta dissertação, é descrita com mais pormenor no ponto 1.3.

A remoção de óleos e gorduras é extremamente importante porque pode criar uma película superficial. Essa película dificulta as trocas gasosas e interfere com a actividade biológica dos processos a jusante, ou mesmo do meio receptor do efluente final. O facto de os óleos e gorduras

serem pouco solúveis reduz a sua degradação por via microbiológica, sendo necessário encaminhar estes subprodutos para um tratamento adequado.

O tratamento preliminar pode incluir um tanque de homogeneização e/ou equalização para esbater variações significativas de afluência de carga (qualidade) e caudal (quantidade) do afluente, respectivamente. Contudo é pouco usual uma vez que representa uma fonte adicional de despesas de manutenção e operação (e.g. energia consumida pelos arejadores/agitadores), para além do custo inicial.

Para se poder avaliar a existência de fugas ao longo do tratamento é essencial fazer medições de caudal ao longo da linha de tratamento. No mínimo deve ser feita uma medição após a gradagem e outra antes da descarga no meio receptor.

À cabeça da ETAR deve ser assegurado o by-pass geral à estação. O by-pass é feito sempre que o caudal afluente ultrapasse o caudal de dimensionamento da ETAR, ou quando esta, por algum motivo, se encontrar inoperacional. Não é mais que uma conduta que permite o desvio do caudal afluente antes de entrar na ETAR, conduzindo-o a uma linha de água.

1.2.1.2. Tratamento Primário

Depois do tratamento preliminar segue-se o tratamento primário que normalmente consiste numa decantação – decantação primária. O objectivo desta operação é a remoção de sólidos sedimentáveis (inorgânicos e orgânicos) e de escumas, reduzindo desta forma os sólidos suspensos, e produzindo um efluente clarificado. O efluente passa para o tratamento secundário e os sólidos decantados formam subprodutos. Estes subprodutos resultam da acumulação de sólidos mais densos do que a água no fundo do decantador sendo removidos sob a forma de lamas primárias, e dos materiais menos densos do que a água (escumas), caso não tenham sido removidos no tratamento preliminar, que se acumulam à superfície sendo removidos e enviados para o concentrador de gorduras.

O tratamento primário, embora seja menos frequente, pode ter a adição de químicos, nomeadamente adição de reagentes e coagulantes, ou então ser sujeito a filtração.

O número de decantadores, a sua dimensão e a sua geometria depende do caudal para o qual a ETAR é projectada. Sempre que a análise de custo/benefício se mostre favorável, por segurança de operação e manutenção, é aconselhável haver mais que um decantador para, no caso de ser necessário colocar um fora de serviço para manutenção ou reparação, o efluente poder ser tratado no outro decantador, evitando o by-pass ao tratamento primário, (METCALF & EDDY, 2003).

1.2.1.3. Tratamento Secundário

O efluente clarificado do decantador primário contém ainda uma carga elevada de CBO_5 (carência bioquímica de oxigénio) e alguns SST (sólidos suspensos totais). Normalmente os valores de CBO_5 e de SST deste efluente não cumprem as normas legislativas de descarga. O tratamento secundário tem pois por objectivo remover a CBO_5 e os SST, que não foram removidos no tratamento primário.

Existem várias operações e processos que podem ser combinados de muitas formas para assegurar o tratamento secundário do efluente. Como as ARU têm uma forte componente de substâncias biodegradáveis que podem ser tratadas biologicamente, o tratamento secundário processa-se no reactor biológico tendo por objectivos: oxidar as partículas e substâncias biodegradáveis em produtos finais; capturar e incorporar os sólidos suspensos e coloidais num floco biológico ou no biofilme; transformar ou remover nutrientes, nomeadamente o azoto e o fósforo; e, em alguns casos, remover compostos específicos, como por exemplo metais pesados e poluentes prioritários (METCALF & EDDY, 2003).

Os processos biológicos mais usados no tratamento de ARU podem ser divididos essencialmente em duas categorias: biomassa suspensa e biomassa fixa.

O processo por biomassa suspensa mais comum é processo por lamas activadas. Com um tratamento por lamas activadas convencional (média carga) é de esperar eficiências de remoção na ordem dos 90 % a 95 %. No reactor aeróbio dá-se o desenvolvimento e a manutenção da cultura microbiana, na presença de oxigénio e matéria orgânica. Para garantir condições aeróbias é promovido arejamento por via artificial, o que representa uma boa parte dos custos energéticos da ETAR. O arejamento em lamas activadas tem três funções essenciais: síntese de novas células, respiração endógena e homogeneização do reactor. Para manter a concentração de biomassa constante no reactor recorre-se à recirculação das lamas secundárias, ou biológicas. Neste processo é essencial a formação de um bom floco biológico – massa biologicamente activa resultante de processos de floculação de partículas coloidais orgânicas e inorgânicas e de células vivas – que sedimente facilmente no decantador secundário.

Num tratamento por lamas activadas convencional o efluente primário é misturado com os sólidos decantados no decantador secundário antes de introduzido no tanque de arejamento. O ar é injectado na mistura através dos difusores instalados no fundo do tanque.

Nos processos por biomassa fixa os microrganismos aderem a um meio de suporte. Esse meio de suporte pode ser pedra, areia, materiais sintéticos ou outro material desde que seja durável (resistente às condições das ARU durante vários anos), e que providencie bastante área para o crescimento dos microrganismos e espaço livre para ventilação. Os biofiltros, os leitos percoladores e os biodiscos ou discos biológicos são exemplos de processos biológicos por biomassa fixa. Dos processos por biomassa fixa os leitos percoladores são um dos mais usados no tratamento de ARU.

À semelhança do que se passa nos sistemas de biomassa suspensa, também nestes sistemas, a matéria orgânica é removida por oxidação biológica e há síntese de novas células. A eficiência de um leito percolador é de cerca de 85 % de remoção de carga orgânica.

Apesar de existirem outros processos de tratamento que permitem fazer o tratamento secundário, os anteriormente referidos são os processos mais utilizados no tratamento de águas residuais urbanas.

Normalmente, num tratamento biológico havendo formação de sólidos terá de existir um decantador secundário. A sua função é semelhante à do decantador primário, ou seja, promover a separação entre os sólidos e o efluente líquido

1.2.1.4. Tratamento Terciário

Depois do tratamento secundário a qualidade do efluente pode ainda não ser suficiente para cumprir os valores de descarga, nomeadamente quando a descarga é feita em zonas sensíveis. Quando a descarga é feita em zonas sensíveis, o já referido Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, estabelece valores de descarga mais exigentes, incluindo a remoção de azoto e fósforo, como se verá no ponto 1.2.2.

O tratamento terciário é definido como os métodos e processos utilizados para remover as substâncias suspensas e dissolvidas que não foram removidas no tratamento secundário (nutrientes, CBO₅ e SST) e, se necessário, inactivar os microrganismos patogénicos. Normalmente a eficiência de remoção conseguida com o tratamento secundário é de apenas 85 % a 95 % de CBO₅ e SST do total que afluí nas ARU, o que nem sempre permite atingir os valores de descarga.

Mas o tratamento terciário não é só usado para garantir que o efluente final respeite os valores de descarga estabelecidos. O tratamento terciário é usado, cada vez mais, para conferir uma qualidade tal ao efluente que permita que este possa ser reutilizado. Cada vez mais, e de forma mais evidente onde a água para abastecimento é mais escassa, as águas residuais começam a ser reutilizadas em usos não potáveis, como por exemplo a irrigação e a rega de jardins, espaços públicos e campos de golfe.

Os processos usados no tratamento terciário são variados, dependendo do objectivo que se pretende. Para a remoção de nutrientes (azoto e/ou fósforo), por exemplo, pode ser usada precipitação química ou tratamento biológico. Na remoção/inactivação de patogénicos é usada a desinfecção, principalmente quando se pretende a reutilização do efluente, ou quando a descarga é feita em águas balneares ou de zonas próximas de captação de água para consumo humano. A desinfecção é feita essencialmente por uma questão de saúde pública. Normalmente recorre-se ao uso de cloro (ou derivados como o hipoclorito), ozono ou radiação ultravioleta.

Entre as tecnologias aplicadas no tratamento terciário que contribuem para uma melhoria significativa do efluente, nomeadamente permitindo a sua reutilização, destaca-se o tratamento por: coagulação e decantação; filtração; membranas; adsorção sobre carbono; osmose inversa; oxidação avançada; troca iónica e “air stripping” (METCALF & EDDY, 2003).

1.2.1.5. Tratamento da Fase Sólida

Ao longo das operações e processos de tratamento da fase líquida vão sendo gerados subprodutos (Quadro 1.5) Esses subprodutos antes de irem para destino final devem ser tratados de modo a tornar o seu manuseamento mais fácil e mais seguro, e o seu transporte até ao destino final ser menos dispendioso e igualmente seguro.

Quadro 1.5 – Subprodutos gerados ao longo das operações e processos de um tratamento convencional da fase líquida.

Operação/Processo	Subproduto Gerado
Gradagem	Gradados
Desarenação	Areias
Desengorduramento	Gorduras
Tratamento Primário	Lamas Primárias (e Gorduras)
Tratamento Secundário	Lamas Secundárias ou Biológicas

Os gradados são normalmente sujeitos a compactação e depositados num contentor, sendo posteriormente depositados em aterro sanitário.

As areias depois de removidas do desarenador passam pelo classificador de areias para serem lavadas e concentradas. É removida uma parte da matéria orgânica e uma grande parte da água. As areias são depositadas e armazenadas num contentor e posteriormente encaminhadas para destino final que, em geral, é a deposição em aterro sanitário.

As gorduras são removidas no desengordurador e no decantador primário, caso este possua ponte raspadora superficial, e são encaminhadas para o concentrador de gorduras onde é removida uma grande parte da água. As gorduras são depositadas num contentor e posteriormente encaminhadas para tratamento adequado antes da sua eliminação.

As lamas primárias e as lamas secundárias representam o maior subproduto gerado em termos de volume, cujo tratamento se baseia no seu espessamento, estabilização e desidratação.

As lamas primárias apresentam geralmente uma concentração de 5 % a 9 %, ao passo que as lamas biológicas apresentam concentrações entre 0,5 % e 1,5 %. Efectivamente as lamas podem ter elevadíssimos teores de água. Como o custo de eliminação é feito com base no volume, o principal objectivo do tratamento de lamas é retirar o máximo de água de forma a reduzir o volume. A redução

do volume permite também: a diminuição dos custos de transporte até ao destino final; um manuseamento e transporte mais fáceis; o aumento do poder calorífico das lamas por redução do teor em água, essencial para a sua possível incineração; a redução dos cheiros e o potencial de putrefacção; e a sua compostagem ou deposição em aterro (METCALF & EDDY, 2003).

As lamas conduzidas ao espessador podem ser primárias, secundárias ou mistas. O espessamento de lamas é feito num órgão semelhante a um decantador. As lamas espessadas são encaminhadas para o processo de estabilização e o sobrenadante retorna à linha de tratamento da fase líquida.

A estabilização tem por objectivos reduzir o volume, estabilizar a matéria orgânica e eliminar os organismos patogénicos de modo a viabilizar a valorização ou eliminação das lamas. Existem vários processos químicos e biológicos para a estabilização das lamas. Um exemplo de estabilização por via química é a adição de cal. Contudo, sempre que possível, deve evitar-se a utilização de reagentes de modo a minimizar os custos de tratamento. A estabilização por via biológica pode ocorrer por digestão aeróbia, digestão anaeróbia, compostagem ou incineração, entre outros processos. A digestão anaeróbia, sendo o método tradicional para a estabilização de lamas, tem a vantagem de apenas uma pequena percentagem da matéria orgânica se converter em novas células, ou seja, apresenta uma menor produção de lamas. A maioria da matéria orgânica é convertida em dióxido de carbono e metano, havendo possibilidade de recuperação energética (SPELLMAN, 2003).

Depois de estabilizadas as lamas são encaminhadas para a desidratação e o sobrenadante, à semelhança do que acontece no espessamento, retorna à linha de tratamento da fase líquida.

A lama quando sai do digestor ainda contém muita água, pelo que é submetida a desidratação. A desidratação é uma operação física que vai ajudar a uma diminuição significativa do volume removendo a água ainda presente. A concentração final das lamas desidratadas depende do método escolhido (filtro banda, centrífuga, leitos de secagem, etc.), mas ronda os 20 % (METCALF & EDDY, 2003).

As lamas, depois de tratadas, podem ter essencialmente três destinos dependendo da sua qualidade: valorização agrícola, incineração ou aterro sanitário. A valorização agrícola é o destino mais barato e a aplicação das lamas ao solo permite a reciclagem de nutrientes e uma melhoria da produtividade do solo. Existem normas para o tratamento de lamas de modo a que possam ser valorizadas ou eliminadas sem constituírem qualquer perigo para o homem e para o ambiente.

1.2.1.6. Desodorização

Os odores podem ocorrer nas várias etapas do tratamento das ARU, tanto da fase líquida como da fase sólida, devido à acumulação de gases libertados das ARU, à estagnação das ARU ou acumulação de sólidos, à putrefacção dos gradados, decomposição da matéria orgânica, mistura incompleta nos reactores, substâncias adicionadas às ARU nomeadamente por descargas industriais, etc.

Em geral estes odores têm um cheiro desagradável que afecta as populações na proximidade das ETAR, constituindo um dos maiores problemas no que toca à aceitação por parte da opinião pública. Alguns projectos não foram aceites pelas populações por receio dos maus cheiros. Esta questão tem levado, cada vez mais, à integração de soluções de tratamento de odores. O controlo de odores tornou-se uma prioridade no projecto e operação das etapas de recolha, tratamento e eliminação numa ETAR, principalmente para aceitação por parte da opinião pública mas também por uma questão de segurança. Muitos dos gases libertados que provocam odores (p.e., H_2S) podem, dependendo da exposição, ser letais.

Numa ETAR o tratamento preliminar tem um elevado potencial para libertação de odores, especialmente se se criarem condições anaeróbias. Tomando como exemplo as areias removidas, estas, mesmo depois de lavadas e concentradas no classificador de areias, ainda contêm alguma matéria orgânica que ao entrar em decomposição provoca a libertação de odores. Mas a fonte mais significativa de produção de odores é o espessamento, digestão anaeróbia e o manuseamento de lamas não estabilizadas (METCALF & EDDY, 2003).

Para evitar a propagação dos odores podem cobrir-se os órgãos, instalar tubagens para recolher os odores e conduzi-los a tratamento. O tratamento de odores pode ser feito por métodos físicos (adsorção por carvão activado), métodos químicos (oxidação química) ou métodos biológicos (biofiltros) (METCALF & EDDY, 2003).

1.2.2. Legislação Nacional sobre ARU

O sector da água tem um longo historial de iniciativas legislativas desde finais do século XIX até à actualidade. Contudo, a legislação sobre o saneamento de águas residuais é mais recente tendo o Decreto-Lei n.º 158/70, de 1 de Abril, inserido o saneamento de águas residuais urbanas na política de gestão de recursos hídricos.

Desde essa data e com a intensificação dos usos da água, em particular através de actividades fortemente poluentes, veio acentuar-se a pressão sobre os recursos hídricos e justificar a profunda reforma do sector que viria a ser operada a partir do início da década de 90. No Quadro 1.6 encontra-se a legislação nacional actualmente em vigor relativa às águas residuais urbanas e à utilização agrícola de lamas de ETAR.

Quadro 1.6 – Legislação nacional em vigor para as águas residuais urbanas e para a utilização agrícola de lamas de ETAR.

Legislação	Descrição
Decreto-Lei n.º 158/70, de 1 de Abril	Veio inserir o saneamento das ARU na política de gestão dos recursos hídricos.
Decreto-Lei n.º 162/96, de 4 de Setembro	Estabelece o regime jurídico da construção, exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de recolha, tratamento e rejeição de efluentes. (Aditado o artigo 7º pelo Decreto-Lei n.º 223/2003 de 20 de Setembro)
Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho	Transpõe para o direito interno a Directiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de Maio de 1991, relativamente ao tratamento de águas residuais urbanas. (Alterações: Decreto-Lei n.º 348/98 de 9 de Novembro, Decreto-Lei n.º 261/99 de 7 de Julho, Decreto-Lei n.º 172/2001 de 26 de Maio, Decreto-Lei n.º 149/2004 de 22 de Junho)
Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto	Estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. (Rectificação: Declaração de rectificação n.º 22-C/98, de 30 de Novembro) Nota: Este diploma foi parcialmente revogado pelo Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, com efeitos a partir de 25/12/2003.
Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de Novembro	Altera o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, transpondo para o direito interno a Directiva n.º 98/15/CE, da Comissão, de 21 de Fevereiro.
Decreto-Lei n.º 149/2004, de 22 de Junho	Altera o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, e aprova uma lista de identificação de zonas sensíveis e de zonas menos sensíveis, bem como respectivo mapa, constantes do anexo II ao referido diploma legal.
Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho	Aprova o regime jurídico a que fica sujeita a utilização agrícola das lamas de depuração, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 86/278/CE, do Conselho, de 12 de Junho, relativa à protecção do ambiente e em especial dos solos, na utilização agrícola de lamas de depuração. (Revoga o Decreto-Lei n.º 446/91, de 22 de Novembro)

O Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de Maio, tem particular relevância uma vez que estabelece as condições gerais que a descarga de águas residuais urbanas nos meios aquáticos deve observar.

Tendo ficado estabelecido no Decreto-Lei n.º 207/94, de 6 de Agosto a responsabilidade de as entidades gestoras dos sistemas de distribuição pública de água e de drenagem pública de águas residuais elaborarem planos, tendo em vista a melhoria dos níveis de atendimento e de qualidade dos serviços prestados, define-se no Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, as metas temporais e os níveis de tratamento que deverão enformar os referidos planos para todos os sistemas de drenagem pública de águas residuais que descarreguem nos meios aquáticos. Este diploma tem por objectivo a protecção das águas superficiais dos efeitos das descargas de águas residuais urbanas, que se integra no objectivo mais vasto da protecção do ambiente.

A nível de legislação de ARU este é sem dúvida o documento legislativo mais importante, estando nele estabelecidos os valores de descarga que as ARU, depois de tratamento apropriado, devem cumprir. Além dos valores de descarga é estabelecido o nível de tratamento a que as ARU devem ser sujeitas, tendo em consideração o número de equivalente populacional (e.p.) do aglomerado em questão e do meio onde vai ser descarregado (zona sensível ou zona menos sensível).

Contudo, os problemas de interpretação suscitados pela aplicação da já referida Directiva n.º 91/271/CEE – relativos aos requisitos a que devem obedecer as descargas provenientes de estações de tratamento de águas residuais efectuadas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização – conduziram à publicação da Directiva n.º 98/15/CE, da Comissão, de 27 de Fevereiro. Foi então publicado o Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de Novembro, procedendo à transposição para o direito interno da Directiva n.º 98/15/CE, que altera a Directiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de Maio. Este Decreto-Lei altera por sua vez o quadro n.º 2 do anexo I ao Decreto-Lei n.º 152/97, relativo aos requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização.

O n.º 2 do artigo 3.º, do citado Decreto-Lei n.º 152/97, dispõe que deva ser feita uma revisão da identificação das zonas sensíveis e das zonas menos sensíveis pelo menos de quatro em quatro anos. Em conformidade com este imperativo legal, decorrente da transposição da Directiva n.º 91/271/CEE, a referida lista de identificação, na parte referente às zonas menos sensíveis, e o respectivo mapa foram alterados pelo Decreto-Lei n.º 261/99, de 7 de Julho. A identificação das zonas sensíveis e o correspondente mapa foram, igualmente, alterados pelo Decreto-Lei n.º 172/2001, de 26 de Maio.

Depois de decorridos cerca de cinco anos sobre a primeira revisão da identificação das zonas menos sensíveis e três anos sobre a revisão relativa às zonas sensíveis, e encontrando-se terminados os complexos estudos técnicos e científicos necessários à segunda revisão legal da identificação destas zonas no território nacional, foi aprovado o Decreto-Lei n.º 149/2004, de 22 de Junho.

No Quadro 1.7 encontram-se os requisitos de descarga das estações de tratamento de águas residuais urbanas. As descargas em zonas menos sensíveis devem obedecer os valores para a CBO₅ e CQO (carência química de oxigénio), podendo facultativamente cumprir o valor para os SST. Nas

zonas sensíveis as descargas devem obedecer ainda aos valores estabelecidos para o azoto e/ou para o fósforo, dependendo da situação do local onde se efectua a descarga.

Quadro 1.7 – Requisitos de descarga das Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas (Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho e do Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de Novembro).

Parâmetro	Concentração	Percentagem mínima de redução ⁽¹⁾
CBO ₅ a 20°C	25 mg/L O ₂	70 - 90
CQO	125 mg/L O ₂	75
SST	35 mg/L	90
Fósforo Total	2 mg/L P (10 000-100 000 e. p.) 1 mg/L P (>100 000 e. p.)	80
Azoto Total	15 mg/L N (10 000-100 000 e. p.) 10 mg/L N (>100 000 e. p.)	70 - 80

⁽¹⁾ Redução em relação à carga do afluente.

O regime económico e financeiro dos recursos hídricos, que está para ser aprovado, prevê uma taxa de recursos hídricos a cobrar pela descarga, directa ou indirecta, de efluentes sobre os recursos hídricos, susceptível de causar impacte adverso significativo, e a extracção de materiais inertes do domínio público hídrico do Estado. Esta taxa contempla uma componente relativa à extracção de inertes do domínio público hídrico do Estado, cujo valor de base é de 2,50 €/m³.

Além da legislação relativa directamente às ARU é importante também referir a legislação relativa aos subprodutos gerados no tratamento das ARU. Actualmente o único subproduto que é sujeito a legislação específica, tendo em vista a sua valorização, é as lamas. Tanto no Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, como na legislação específica publicada só existe referência a este subproduto.

O Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho, aprova o regime jurídico de utilização agrícola de lamas. Com a publicação deste Decreto-Lei foram revogados os documentos legislativos existentes sobre a utilização de lamas na agricultura, nomeadamente, o Decreto-Lei n.º 446/91, de 22 de Novembro, a Portaria n.º 176/96, de 3 de Outubro, a Portaria n.º 177/96, de 3 de Outubro, e o despacho conjunto n.º 309-G/2005, de 19 de Abril.

A maior preocupação que surge na aplicação de lamas de depuração em solos agrícolas diz respeito à presença de metais pesados. Nos quadros 2 e 4 do anexo I ao Decreto-Lei n.º 118/2006, são estabelecidos os valores limite de concentração de metais pesados e de compostos organohalogenados adsorvíveis (AOX) nas lamas destinadas à agricultura.

Com as preocupações com a prevenção e controlo da poluição e a protecção dos recursos naturais, a tendência da legislação é para ser cada vez mais restrita, exigindo uma qualidade e desempenho crescente. Por outro lado é necessária nova legislação que contemple situações não abrangidas pela existente e clarifique situações ambíguas que possam eventualmente existir.

1.3. OPERAÇÃO DE DESARENAÇÃO

Como já referido anteriormente as águas residuais urbanas são constituídas por várias substâncias, entre elas materiais inertes como é caso das areias. No senso comum as areias são materiais granulados finos que provêm da desagregação de rochas, usualmente comercializadas e que são extraídas dos leitos dos rios, de dunas formadas pela acção do vento (BRADY e CLAUSER, 1977), ou ainda de pedreiras, apresentando um baixo teor em matéria orgânica e outras impurezas. Contudo, neste contexto, entenda-se “areias” como o conjunto de substâncias e materiais que são removidas do desarenador, independentemente da sua composição, quer orgânica, quer inorgânica.

A presença destas areias nas ARU constitui um problema para a linha de tratamento, principalmente quando a rede de drenagem é feita por um sistema unitário. Num sistema deste tipo as águas pluviais, que arrastam consigo uma quantidade considerável de sólidos, juntam-se às águas residuais domésticas e/ou industriais, afluindo em conjunto à estação de tratamento a jusante da rede de drenagem. Por este motivo a quantidade de inertes, nomeadamente de areias, que entram na ETAR depende essencialmente do sistema de drenagem. Num sistema unitário é de esperar uma quantidade de inertes muito superior à quantidade presente num sistema misto ou separativo (Quadro 1.8). Mas, mesmo em sistemas unitários, a quantidade de inertes é variável, uma vez que depende de características locais, nomeadamente do regime de precipitação, das infiltrações, do tipo de solo e ainda da época do ano (com mais ou menos precipitação).

Quadro 1.8 – Quantidades de areias removidas das ARU em sistemas unitários e em sistemas mistos (METCALF & EDDY, 2003).

Tipo de Sistema	Razão entre o Dia de Afluência Máxima e o Dia de Afluência Média de Areia	Quantidade Média de Areia Removida (m ³ areia removida /1000 m ³ de ARU)
Separativo	1,5 a 3:1	0,004 – 0,037
Misto	3 a 15	0,004 – 0,180

A origem das areias presentes nas ARU é essencialmente das águas pluviais e das infiltrações, embora haja um contributo das águas residuais domésticas (ARD) e das águas residuais industriais (ARI) (LEE e LIN, 1999). A contribuição das ARD e das ARI não é tanto em termos de inertes mas sim de substâncias que pela sua elevada densidade sedimentam com eles.

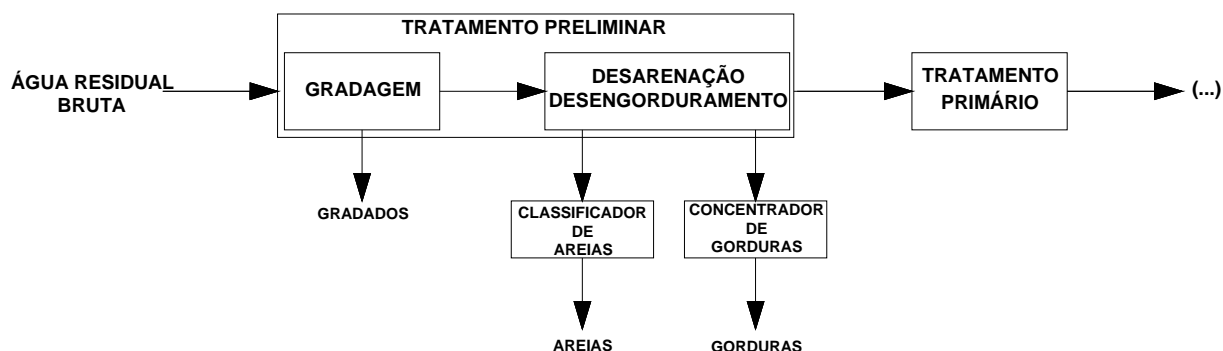


Figura 1.7 - Localização da operação de desarenação na linha de tratamento das águas residuais.

Os desarenadores são usados tipicamente depois da gradagem para remover materiais que, sendo mais densos do que a água, depositam facilmente (Figura 1.7). A areia removida é constituída por material inorgânico como: areia (propriamente dita), escórias/cinzas, pedras, cascalho, filtros de cigarros, fragmentos metálicos, pedaços de vidro, etc. Adicionalmente contém material orgânico como: conchas, lascas de ossos, espinhas, escamas, borras de café e restos de comida de alguma dimensão.

Normalmente o que é removido como areia é predominantemente material inerte e relativamente seco e, segundo CORBITT (1998), não requer tratamento adicional antes de ser depositado em aterro sanitário. Contudo, dada a sua origem, é de esperar que a composição destas areias varie significativamente, podendo ter uma percentagem de humidade entre 13 % a 65 % e de compostos voláteis entre 1 % a 56 %. O valor geralmente usado para a densidade da areia é de 1600 kg/m^3 (METCALF & EDDY, 2003).

Estas substâncias têm um poder abrasivo que, se não forem removidas, podem causar um desgaste excessivo das bombas e dos equipamentos mecânicos ou mesmo do betão. Além do poder abrasivo a maioria dos problemas de redução de caudal escoado é atribuído a partículas de areia de 0,2 mm ou maiores. As areias vão ter tendência a depositar-se nas tubagens e nos órgãos dos vários processos (principalmente nos reactores biológicos e digestores), provocando a colmatação das tubagens e a diminuição do volume útil dos órgãos, diminuindo a eficiência do tratamento. A desarenação tem por objectivo a protecção dos equipamentos e dos processos de tratamento, e evitar obstruções em circuitos hidráulicos, reduzindo a frequência com que os órgãos a jusante têm de ser limpos devido à acumulação de areias.

1.3.1. Sedimentação de Partículas Discretas

A operação de desarenação baseia-se na remoção por sedimentação de partículas discretas em suspensão cuja densidade é superior à da água. A sedimentação deste tipo de partículas não é afectada pela presença de outras partículas, sendo apenas função das propriedades do fluido e das características da partícula. Analisando as leis da sedimentação formadas por Stokes e Newton pode-se determinar se uma partícula sedimenta ou não com base na velocidade crítica (v_c) (METCALF & EDDY, 2003). Qualquer partícula que entre no tanque vai ter a actuar sobre ela uma velocidade horizontal (v_h) – velocidade de atravessamento do fluxo – e uma velocidade vertical – velocidade de sedimentação da partícula (v_p). A velocidade crítica vai ser a resultante vectorial da velocidade horizontal e vertical de uma partícula que entre no ponto mais afastado do fundo do tanque, ou seja, à superfície – ponto de entrada mais desfavorável à sedimentação da partícula (Figura 1.8) (ALVES, 2005).

Num tanque de sedimentação ideal todas as partículas com uma velocidade de sedimentação superior ou igual à v_c são removidas, ao passo que as partículas com uma velocidade inferior à v_c são removidas apenas numa proporção entre a v_p e a v_c (ALVES, 2005).

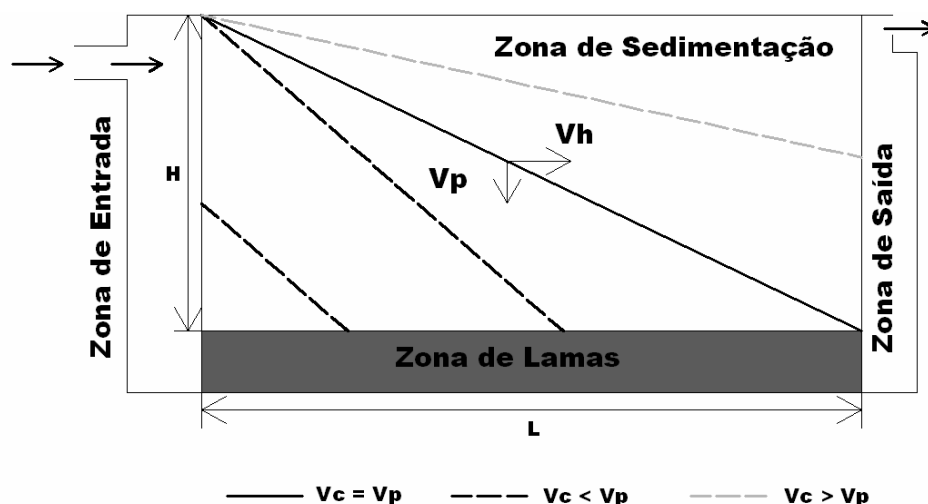


Figura 1.8 – Sedimentação num tanque ideal (ALVES, 2005).

A velocidade crítica é igual à carga superficial (caudal por unidade de superfície do tanque), que no caso das partículas discretas é independente da profundidade do tanque.

Em geral os desarenadores são dimensionados para reter todas as partículas de tamanho igual ou superior a 0,2 mm, cuja velocidade de sedimentação é de 0,02 m/s. Para garantir a sedimentação de todas as partículas $\geq 0,2$ mm e a suspensão das partículas orgânicas, dimensionam-se os desarenadores para uma velocidade de atravessamento de 0,3 m/s. Velocidades inferiores a 0,15 m/s permitem a deposição de matéria orgânica, e velocidades superiores a 0,4 m/s permitem a passagem de sólidos que, pela sua dimensão, deveriam ser removidos.

1.3.2. Tipos de Desarenadores

A remoção de areia pode ser feita por desarenadores com ou sem arejamento ou de vórtex. Ambos os processos usam a força da gravidade e a velocidade para separar os sólidos. Os desarenadores mais frequentemente utilizados no tratamento de ARU são os desarenadores de fluxo horizontal e os desarenadores com arejamento. Estes últimos têm a particularidade de remover também óleos e gorduras (desengorduramento) (Quadro 1.9).

Quadro 1.9 – Principais tipos de desarenadores.

Tipos de Desarenadores	
Desarenador de Fluxo Horizontal ou Gravítico	Secção rectangular (descarregador tipo “Sutro”)
	Secção trapezoidal (descarregador tipo Parshall)
Ciclone	
Arejado, com remoção de flutuantes	Fluxo horizontal
	Fluxo vertical
	Fluxo em espiral

1.3.2.1. Desarenador de Fluxo Horizontal

Quando o espaço não é uma condicionante os desarenadores de fluxo horizontal, de limpeza manual ou mecânica, podem ser uma boa escolha. Este tipo de desarenadores não é mais do que um simples canal de secção rectangular, cujo comprimento depende das partículas a remover. Nos desarenadores de fluxo horizontal a velocidade uniforme (0,3 m/s) é conseguida pelo uso de descarregadores com geometrias particulares. O descarregador de Parshall é um dos mais usados para controlar a velocidade, tendo a vantagem de medir o caudal (CORBITT, 1998). O dimensionamento é feito para a velocidade de atravessamento de 0,3 m/s e para um tempo de retenção de aproximadamente 1 minuto. O comprimento e a profundidade do canal são, respectivamente, função da velocidade crítica (v_c) de sedimentação das partículas que se querem remover e o do volume de armazenamento pretendido. Normalmente são dimensionados para removerem todas as partículas de areia que ficariam retidas em grades de 0,21 mm ou mesmo de 0,15 mm (METCALF & EDDY, 2003).

Um dos mecanismos que permite a limpeza mecânica dos desarenadores consiste numa ponte raspadora, ou num mecanismo similar, que encaminha as areias que se depositam no fundo do desarenador para uma tremonha situada numa das pontas. As areias são depois conduzidas (por bombas ou outros mecanismos) para o classificador de areias ou directamente para contentores, para posterior eliminação (CORBITT, 1998). Em pequenas ETAR é comum este tipo de desarenadores serem de limpeza manual.

Independentemente de a limpeza ser mecânica ou manual, ou mesmo do tipo de desarenador, devem, sempre que for possível, ser instalados pelo menos dois desarenadores, para que quando um esteja a ser sujeito a manutenção ou reparação, o afluente passe pelo outro, não afectando o funcionamento das operações e processos a jusante.

Quadro 1.10 – Parâmetros de dimensionamento para desarenadores de fluxo horizontal (METCALF & EDDY, 2003).

Parâmetros	Unidades	Valores Limite	Valor Médio
Tempo de retenção	s	45 – 90	60
Velocidade horizontal	m/s	0,25 – 0,4	0,3

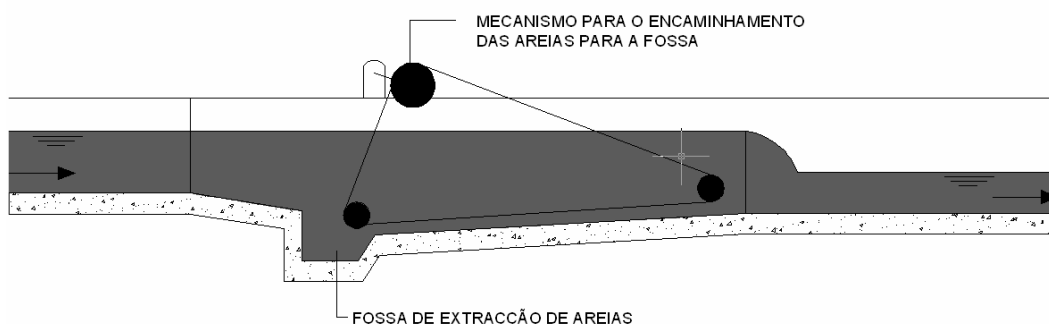


Figura 1.9 – Vista em corte longitudinal de um desarenador de fluxo horizontal (CORBITT, 1998).

1.3.2.2. Desarenador com Arejamento

Com a adição de ar ao processo de desarenação as areias podem ser removidas em menos espaço e com menos matéria orgânica do que nos desarenadores de fluxo horizontal (CORBITT, 1998). A acção das bolhas de ar em contacto com a areia deverá remover a matéria orgânica que está agarrada à superfície das partículas inertes e mantê-la em suspensão. O dimensionamento deste tipo de desarenadores é igualmente condicionado pela velocidade de atravessamento e pelo tempo de retenção. Contudo, a velocidade de atravessamento nestes desarenadores é controlada pelo caudal de ar que é injectado, e não pelo tipo de descarregador como acontece nos desarenadores de fluxo horizontal (DAVIS e CORNWELL, 1998).

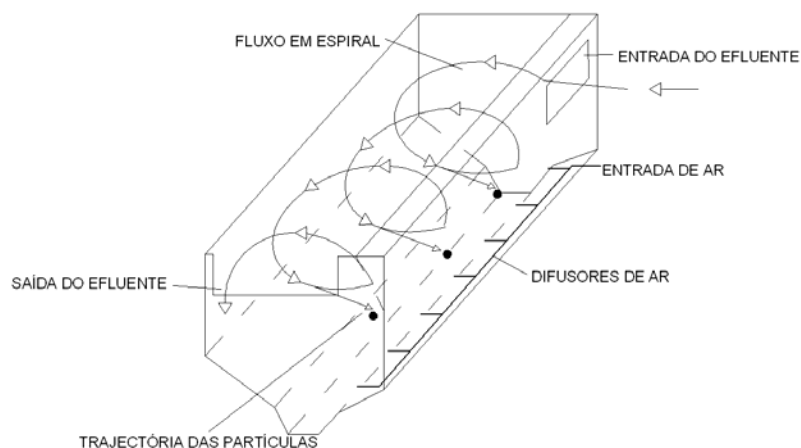


Figura 1.10 – Desarenador com arejamento de fluxo em espiral (METCALF & EDDY, 2003).

Os desarenadores com arejamento de fluxo em espiral baseiam-se na injeção de um caudal de ar de um dos lados de um tanque rectangular, ao longo do seu comprimento, criando um fluxo em espiral perpendicular ao fluxo horizontal do afluente. As partículas mais pesadas, com velocidades de sedimentação superiores, depositam-se no fundo do tanque. As partículas de matéria orgânica mais leves permanecem em suspensão, passando pelo desarenador sem serem removidas. A velocidade do fluxo em espiral ou a agitação controla o tamanho das partículas removidas com base na sua densidade.

A geometria do desarenador é importante não só para evitar zonas mortas mas também para assegurar efectivamente o fluxo em espiral e acomodar as areias na zona de remoção (CORBITT, 1998). As areias são removidas do desarenador por bombagem ou outro sistema que permita a sua extracção e transporte até ao classificador de areias, ou até ao contentor para posterior eliminação. A vantagem deste tipo de desarenador é que é muito mais fácil controlar a velocidade de atravessamento conduzindo a uma maior eficiência de remoção, e as areias são removidas com muito menos matéria orgânica.

Quadro 1.11 – Características de dimensionamento de desarenadores com arejamento (METCALF & EDDY, 2003).

Parâmetros		Valores Limite	Valor Médio
Tempo de retenção (fluxo máximo) (min.)		2 – 5	3
Dimensões	Altura (m)	2 – 5	-
	Comprimento (m)	7,5 – 20	-
	Largura (m)	2,5 – 7	-
Razão largura – altura		1:1 a 5:1	1,5:1
Razão comprimento – largura		3:1 a 5:1	4:1
Ar fornecido por unidade de comprimento ($\text{m}^3/\text{m}.\text{min}$)		0,2 – 0,5	-
Quantidade de areias ($\text{m}^3/10^3\text{m}^3$)		0,004 – 0,20	0,015

1.3.2.3. Desarenador Tipo Ciclone

Existe mais que um tipo de desarenadores tipo ciclone, mas embora variem em determinados pormenores, como por exemplo o local de entrada e de saída do fluxo, todos se baseiam na remoção de areias por acção da força centrífuga.

Num desarenador deste tipo, as ARU, após a gradagem, entram no fundo do desarenador onde um movimento tangencial é gerado devido à forma em funil do mesmo. Devido à presença de um agitador no interior do desarenador a velocidade mantém-se constante permitindo a remoção das areias e a suspensão da matéria orgânica. A rotação radial constante e o fluxo axial permitem que as areias sedimentem rapidamente no fundo do desarenador, de onde serão removidas. O efluente sem areias segue na linha de tratamento, e as areias depositadas são removidas por bombagem e conduzidas ao respectivo classificador.

Quadro 1.12 – Características de dimensionamento de um desarenador tipo ciclone (METCALF & EDDY, 2003).

Parâmetros		Valores Limite	Valor Médio
Tempo de retenção (fluxo máximo) (s)		20 - 30	30
Diâmetro	Topo (m)	1,2 – 7,2	-
	Fundo (m)	0,9 – 1,8	-
Altura (m)		2,7 – 4,8	-
Taxas de remoção	0,30 mm (%)	92 - 98	95+
	0,24 mm (%)	80 - 90	85+
	0,15 mm (%)	60 - 70	65+

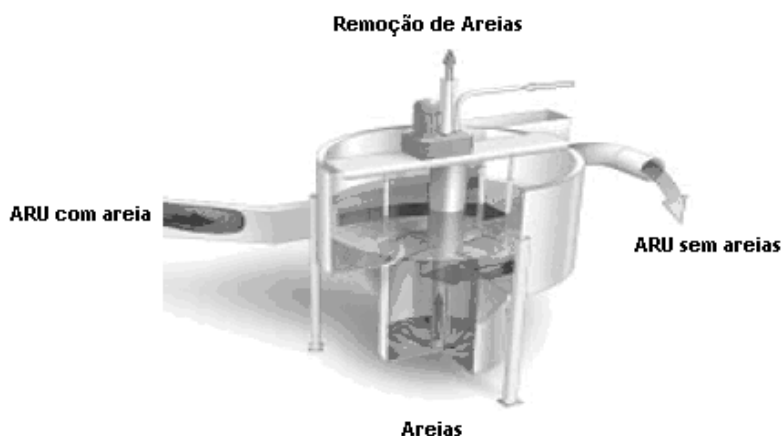


Figura 1.11 – Desarenador tipo ciclone (Huber Technology, 2007).

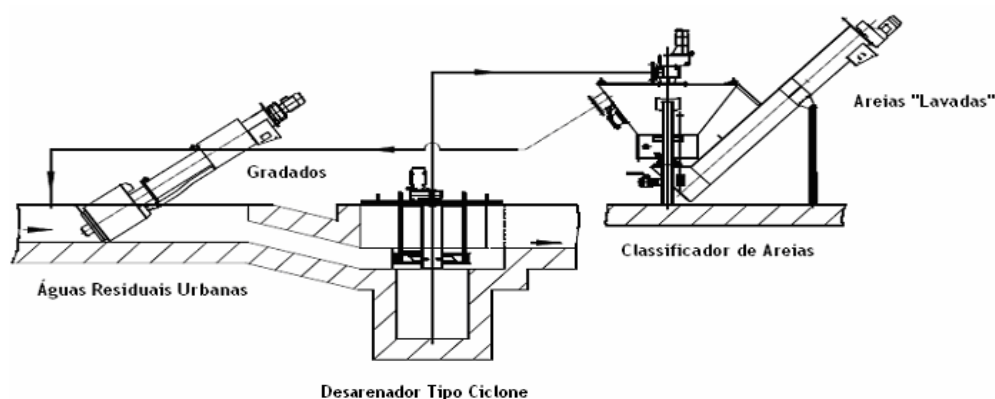


Figura 1.12 – Exemplo da aplicação de um desarenador tipo ciclone na obra de entrada (Huber Technology, 2007).

1.3.3. Classificador de Areias

Actualmente, na maioria das ETAR onde existe a operação de desarenação, as areias que são removidas no desarenador, são conduzidas a um classificador de areias, antes de serem depositadas em contentores para posterior eliminação.

A remoção de matéria orgânica efectuada na operação de desarenação tem por finalidade otimizar o funcionamento do classificador de areias. Mas, normalmente, as areias removidas do efluente no desarenador apresentam ainda níveis elevados de matéria orgânica e de água, embora dependa das características da ARU e do tipo de desarenador.

Com o objectivo de remover essa matéria orgânica e diminuir o teor em água, as areias são conduzidas ao classificador de areias onde são sujeitas a uma “lavagem”, ou seja, onde é feita a remoção da matéria orgânica ainda presente. Além disso, o classificador de areias permite extrair as areias do sistema praticamente sem água, o que leva à redução do volume de areias a transportar para destino final, minimizando custos de transporte e de deposição.

Como as areias permanecem algum tempo nos contentores antes de serem levadas para destino final, a presença de matéria orgânica pode levar à libertação de odores desagradáveis e a potenciar problemas de saúde pública. Assim, a remoção da matéria orgânica e da água das areias, além de diminuir, ou mesmo eliminar, a libertação de odores desagradáveis e potenciais riscos de saúde pública, vai facilitar o seu manuseamento e transporte e, como já referido, reduzir os custos de transporte e eliminação.



Figura 1.13 – Classificador de areias COANDA ROSF 3 (Huber Technology, 2007).



Figura 1.14 – Classificador de areias SPECOS, modelo DS (Interagua, 2007).

Actualmente existem no mercado vários tipos de classificadores de areias, cuja diversidade de designs e tecnologia permite escolher o equipamento que mais se adapta a cada instalação. Os classificadores com arejamento na tremonha e lavagem de areias ao longo do parafuso transportador permitem obter eficiências de remoção de matéria orgânica mais elevadas e, conseqüentemente, areias com qualidade sanitária superior.

1.3.4. Destino Final das Areias

As areias depois de saírem do classificador são armazenadas geralmente em contentores antes de serem conduzidas a destino final.

Foi feito um enorme esforço na pesquisa bibliográfica e nos sistemas em funcionamento, sobre o destino final dado às areias a nível nacional e a nível internacional.

A pesquisa bibliográfica sobre o destino final das areias revelou que em muitos livros essa parte é omissa, referindo a necessidade da deposição e do transporte das areias depois de removidas, mas sem referir o destino final efectivo. A bibliografia que faz referência ao destino final das areias aponta a deposição em aterro sanitário como solução para a eliminação deste subproduto. Nas ETAR de grandes dimensões, existentes em alguns países, há referências à incineração das areias juntamente com sólidos e, em algumas ETAR, chega-se a fazer a estabilização com cal antes de deposição em aterro (METCALF & EDDY, 2003 e DAVIS e CORNWELL, 1998).

Com o intuito de avaliar se houve alguma evolução no destino final dado actualmente às areias removidas nas ETAR desde a publicação destes livros, foram contactadas algumas entidades nacionais e internacionais.

A nível internacional foi contactada: a Environmental Protection Agency (EPA), Agência de Protecção do Ambiente dos Estados Unidos da América; o Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), equivalente no Reino Unido ao Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (MAOTDR) português; e o Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, equivalente na Holanda ao MAOTDR português. Foi obtida resposta apenas da EPA informando que o destino habitual dado às areias removidas no tratamento de águas residuais é a sua deposição em aterro.

Em Portugal o panorama é semelhante, como se pode constatar pelas repostas obtidas junto das várias entidades apresentadas no Quadro 1.13. As areias são normalmente depositadas em aterro sanitário, variando apenas o tipo de aterro em que são depositadas – aterro para resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais banais ou resíduos perigosos – consoante as suas características e a entidade que gere o aterro para onde são encaminhadas.

Quadro 1.13 – Destino final dado às areias removidas nas ETAR de alguns sistemas Municipais e Multimunicipais, em Portugal.

Sistemas	Destino Final
Águas do Algarve, S. A.	Aterro Sanitário
Águas do Oeste, S. A.	Aterro Sanitário
Águas do Sado, S. A.	Aterro Sanitário
Águas do Zêzere e Côa, S. A.	Aterro Sanitário
LUSÁGUA, S. A.	Empresas de recolha de resíduos
SIMARSUL, S. A.	Aterro Sanitário

1.4. PRODUÇÃO, CAPITAÇÃO E CUSTO DE DEPOSIÇÃO DAS AREIAS

1.4.1. Produção de Areias a Nível Nacional

Para estimar a produção nacional de areias removidas nas ETAR o primeiro obstáculo é a falta de dados relativos a este tema. O relatório final do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), e o Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), referentes ao ano de 2005, fazem a caracterização do sector a nível nacional. Contudo, indicam apenas os volumes de águas residuais tratadas, não fazendo qualquer referência à quantidade de areias removida nas ETAR. Sendo estes

os relatórios mais recentes destas entidades, e não havendo outra fonte que possa fornecer este tipo de dados, não é possível avaliar com exactidão a produção de areias a nível nacional.

Na tentativa de se proceder a uma estimativa da quantidade de areias removidas nas ETAR em Portugal, foram contactadas algumas das entidades gestoras de serviços de saneamento de águas residuais urbanas. Foi solicitada informação referente à quantidade de areias removidas nas ETAR, ao volume de águas residuais tratadas a que corresponde essa quantidade, e o destino final das areias, relativamente ao ano de 2006. No Quadro 1.14 estão identificadas as entidades contactadas e as respostas obtidas.

Quadro 1.14 – Entidades contactadas e produção de areias por entidade no ano de 2006.

Entidade Contactada	Produção de Areias (t/ano)	Q de ARU Tratadas (m ³ /ano)	Destino Final	Observações
Águas da Teja, S. A.	-	-	-	Não respondeu.
Águas de Cascais, S. A.	-	-	-	Não têm ETAR. As ARU são encaminhadas para a SANEST.
Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, S. A.	-	-	-	Não respondeu.
Águas do Algarve, S. A.	751	19.299.515	Aterro Sanitário	-
Águas do Ave, S. A.	-	-	-	Não respondeu.
Águas do Centro, S. A.	-	-	-	Não respondeu.
Águas do Oeste, S. A.	140	-	Aterro Sanitário	Não forneceu dados sobre o volume de A.R. tratadas.
Águas do Sado, S. A.	79	3.198.000	Aterro Sanitário	-
Águas do Zêzere e Côa, S. A.	-	-	Aterro Sanitário	Não existem dados sobre a quantidade removida.
LUSÁGUA, S. A.	1.000	40.500.000	Empresas de recolha de resíduos.	-
SANEST, S. A.	-	-	-	Não respondeu.
SIMARSUL, S. A.	460	14.007.031	Aterro Sanitário	-
SIMLIS, S. A.	-	-	-	Não respondeu.
SIMRIA, S. A.	-	-	-	Não respondeu.
SIMTEJO, S. A.	-	-	-	Não respondeu.
TRATAVE, S. A.	0	-	Não aplicável.	As ETAR do Vale do Ave não possuem desarenador.

Os poucos dados recolhidos não permitem encontrar um valor para a produção de areias a nível nacional, mas permitem, em conjunto com os dados de algumas ETAR da SIMARSUL, S. A., encontrar um valor para a quantidade de areias removidas por unidade de volume de águas residuais tratadas.

No Quadro 1.15 são apresentados os dados recolhidos sobre a quantidade de areias removidas, o volume de águas residuais tratadas e a quantidade de areias removidas (em massa e em volume) por

metro cúbico de ARU tratadas, nos sistemas das Águas do Algarve, S. A., das Águas do Sado, S. A., da LUSÁGUA, S. A. e da SIMARSUL, S. A., referente ao ano de 2006. No caso da SIMARSUL, S. A. foi ainda possível ter acesso a dados de algumas ETAR em particular.

Quadro 1.15 – Quantitativos relativos a areias removidas de águas residuais urbanas.

Sistema/ETAR	Areias Removidas (t/ano)	Q de ARU Tratada (m ³ /ano)	Areias Removidas por Volume de ARU Tratada (kg/m ³)	Areias Removidas por Volume de ARU Tratada ⁽¹⁾ (m ³ / 1000 m ³)
Águas do Algarve, S. A.	751,00	19.299.515	0,039	0,024
Águas do Sado, S. A.	79,12	3.198.000	0,025	0,015
LUSÁGUA, S. A.	1.000,00	40.500.000	0,025	0,015
SIMARSUL, S. A.	460,00	14.007.031	0,033	0,021
ETAR de Cucena	24,00	452.055	0,053	0,033
ETAR da Quinta do Conde	31,58	652.585	0,048	0,030
ETAR de Sesimbra	40,52	1.077.247	0,038	0,024
ETAR da ZIA ⁽²⁾	19,68	754.000	0,026	0,016
Total ⁽³⁾	2.290,12	77.004.546	-	-
Média Ponderada	-	-	0,030	0,019

⁽¹⁾ Densidade da areia de 1600 kg/m³.

⁽²⁾ ZIA – Zona Industrial da Autoeuropa.

⁽³⁾ O total foi calculado com base apenas nos valores referentes aos sistemas, uma vez que os valores das ETAR já estão contabilizados no sistema da SIMARSUL, S. A.

Comparando estes valores com os valores teóricos do Quadro 1.8 verifica-se que estão dentro dos valores estabelecidos, mais ainda, verifica-se que os valores obtidos são muito semelhantes entre si tendo em conta a amplitude dos intervalos. No entanto, há que ter em conta que o valor encontrado para estimar a quantidade de areias produzidas a nível nacional, baseado na média ponderada das produções nestas entidades, deve ser encarado com alguma reserva devido à escassez de dados com que foi calculado, tendo em consideração o número de ETAR em funcionamento em Portugal. Porém, dada a escassez de informação sobre a produção de areias, e o facto de os valores obtidos se situarem num intervalo bastante restrito face ao intervalo teórico, o valor encontrado pode ser visto como um valor de referência da quantidade de areias removidas nas ETAR a nível nacional.

Considerando que o volume de águas residuais facturadas fornecido pelo IRAR para o ano de 2006 é de 338.138.562 m³, o volume de ARU analisado corresponde apenas a cerca de 23 %. Embora este valor esteja longe dos 100 % é já uma percentagem significativa. É de referir que este volume fornecido pelo IRAR refere-se a dados ainda não validados, pelo que pode ainda sofrer alterações significativas.

Com base na média ponderada das areias removidas por volume de metros cúbicos de ARU tratada e do volume de ARU facturada em 2006, pode-se estimar a produção de areias a nível nacional (Quadro 1.16).

Quadro 1.16 – Produção estimada de areias removidas nas ETAR em 2006, a nível nacional.

Areias Removidas por Volume de ARU Tratada (kg/m ³)	Areias Removidas por Volume de ARU Tratada (m ³ / 1000 m ³)	Volume de ARU Tratada (m ³)	Produção de Areias	
			Toneladas (t)	Volume (10 ³ m ³)
0,030	0,019	338.138.562	10.200	6,4

1.4.2. Produção de Areias na ETAR de Sesimbra

A ETAR de Sesimbra removeu 40,52 t de areias dum volume de 1.077.247 m³ de ARU tratada no ano de 2006, correspondendo a um volume de 0,024 m³ de areia removida por 1000 m³ de ARU tratada (Quadro 1.15). Este valor está um pouco acima da média ponderada mas dentro dos limites estabelecidos na bibliografia. Tendo em conta a produção anual pode-se calcular a produção média mensal e a produção média diária (Quadro 1.17).

Quadro 1.17 – Produção de areias e caudal médio de ARU anual, mensal e diário.

Período	Produção Média de Areias		Caudal Médio de ARU
	(t)	(m ³)	
Anual	40,52	25,33	1.077.247,00 m ³ /ano
Mensal	3,38	2,11	89.771,00 m ³ /mês
Diário	0,11	0,07	2.951,36 m ³ /dia

1.4.3. Capitação de Areias Nacional e na ETAR de Sesimbra

Segundo ARCEIVALA (1994) a capitação de areias é cerca de 5 a 15 g/hab.dia. No PEAASAR II consta que o nível de atendimento da população com tratamento de ARU era de 80 % em 2006. Tendo em consideração que, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), a população residente em Portugal no mesmo ano era de 10.110.271 habitantes (correspondendo 80 % a 8.088.217 habitantes), a capitação de areias a nível nacional é de aproximadamente 3,5 g/hab.dia. Embora este valor não esteja dentro do intervalo teórico, tendo em conta as estimativas efectuadas, não está muito afastado do limite mínimo.

Como não existem dados concretos do número de habitantes efectivamente servidos pela ETAR de Sesimbra é necessário estimar esse número. O caudal diário de dimensionamento da ETAR para o ano zero é de 2720 m³/dia para uma população de 18 000 habitantes, sendo a capitação de ARU de aproximadamente 150 L/hab.dia. Assim, sabendo que no ano de 2006 o caudal médio diário foi de 2951,36 m³/dia, considerando a mesma capitação, estima-se que o número de habitantes servidos seja de aproximadamente 19.680 habitantes. O que resulta numa capitação de areias de 5,6 g/hab.dia, encontrando-se dentro do intervalo teórico definido para a capitação de areias.

1.4.4. Custo de Deposição das Areias em Aterro Sanitário

Como referido no ponto 1.3.4 o destino final das areias removidas nas ETAR é actualmente a deposição em aterro sanitário.

A deposição em aterro de qualquer resíduo está sujeita a uma tarifa, tarifa essa regulada pelo IRAR e que depende do tipo de resíduo, do tipo de aterro e da entidade prestadora do serviço de gestão de resíduos. Para avaliar o custo de deposição das areias seria necessário saber a quantidade de areias que vai para cada entidade, uma vez que a cada uma correspondem valores que podem ser significativamente diferentes. Como não se conhecem essas quantidades, admitiu-se como valor médio para o custo de deposição em aterro destas areias a média das tarifas aprovadas pelo IRAR para o ano de 2006, cerca de 30,06 €/t, acrescentando o valor da eco-taxa (2 €/t), perfazendo o valor de 32,06 €/t. A tarifa aprovada para a AMARSUL, empresa prestadora de serviços de resíduos sólidos urbanos responsável pela deposição das areias removidas na ETAR de Sesimbra, é de 22,11 €/t. A este valor é adicionada a eco-taxa, perfazendo um total de 24,11 €/t.

Tendo em conta as tarifas aprovadas pelo IRAR para os serviços de saneamento de ARU para o ano de 2006, a tarifa média é cerca de 0,45 €/m³, e a tarifa praticada na ETAR de Sesimbra (SIMARSUL, S. A.) é de 0,47 €/m³.

Com estes dados é possível estimar o custo de deposição de areias a nível nacional e na ETAR de Sesimbra, bem como calcular qual a percentagem do custo de tratamento das ARU que é destinado à deposição das areias (Quadro 1.18).

Quadro 1.18 – Custo da deposição das areias em aterro, a nível nacional e na ETAR de Sesimbra, referente ao ano de 2006.

Parâmetros		Nacional	ETAR de Sesimbra
Areias a depositar em aterro (t/ano)		10.200	40,5
Taxa de deposição (€/t)		32,06	24,11
Custo de deposição	(€/ano)	327.012	977
	(€/mês)	27.251	81
Areias removida por volume de ARU tratada (kg de areias/m ³ de ARU tratada)		0,030	0,038
Custo da deposição das areias por volume de ARU tratadas (€/1000 m ³ ARU tratada)		0,96	0,92
Tarifa de saneamento de ARU (€/m ³)		0,45	0,47
Percentagem da tarifa de saneamento de ARU destinada à deposição das areias (%)		0,21	0,19

Os custos de deposição a nível nacional tendem a ser muito mais elevados do que os estimados, uma vez que a tarifa média foi calculada sem contemplar a deposição em aterros para resíduos perigosos, onde são praticadas tarifas muito mais elevadas.

1.5. PROBLEMÁTICA DA CLASSIFICAÇÃO DAS AREIAS COMO RESÍDUO

1.5.1. As Areias como um Resíduo

As areias removidas nas ETAR constituem um subproduto gerado no processo de tratamento das ARU sendo actualmente consideradas um resíduo, tendo como destino final a deposição em aterro sanitário.

O Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, define «resíduo» como “qualquer substância ou objecto de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou a obrigação de se desfazer, nomeadamente os identificados na Lista Europeia de Resíduos (...)”. As areias são identificadas na Lista Europeia de Resíduos (LER) com o código 19 08 02, correspondendo aos resíduos do desarenamento provenientes de ETAR, não sendo consideradas um resíduo perigoso, o que não significa que não o possam ser em determinados casos, nomeadamente quando as análises feitas às areias, de acordo com o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, determinem que têm de ser encaminhadas para aterros de resíduos perigosos. Não restam pois quaisquer dúvidas quanto ao facto destas areias serem consideradas um resíduo. Contudo, o mesmo não acontece quando se quer definir de que tipo de resíduo se trata.

O Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, revogado pelo já referido Decreto-Lei n.º 178/2006, define no seu artigo 3.º os «resíduos urbanos» como “os resíduos domésticos ou outros resíduos semelhantes, em razão da sua natureza ou composição, nomeadamente os provenientes do sector de serviços ou de estabelecimentos comerciais ou industriais e de unidades prestadoras de cuidados de saúde, desde que, em qualquer dos casos, a produção diária não exceda 1100 L por produtor”. Com base nesta definição um pouco ambígua, e à falta de uma definição que se ajuste melhor, as areias são geralmente consideradas como resíduo urbano. A justificação baseia-se no facto da produção diária não exceder os 1100 L e de serem provenientes da recolha e tratamento de águas residuais, actividade considerada na secção O da antiga Classificação Portuguesa de Actividades Económicas (CAE) (Decreto-Lei n.º 197/2003, de 27 de Agosto) como actividade de serviços colectivos, sociais e pessoais, ou seja, um resíduo proveniente do sector de serviços que não excede os 1100 L diários por produtor. Mas, tendo em conta a composição física média dos resíduos sólidos urbanos (RSU) (Quadro 1.19) e a nova CAE (Decreto-Lei n.º 381/2007, de 14 de Novembro), as areias não se enquadram nesta definição.

Quadro 1.19 – Composição física média dos RSU (Instituto dos Resíduos, 2007).

Componentes	%
Papel/Cartão	26,40
Vidro	7,40
Plástico	11,10
Metais	2,75
Têxteis	2,60
Madeira/Embalagens	0,50
Materiais Fermentáveis	26,50
Verdes	3,15
Finos	14,25
Outros Resíduos	5,35

No Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, é alterada a definição de «resíduo urbano» passando a ser considerado como tal “o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações”. A questão passa a ser se as areias provenientes do tratamento de ARU podem, ou não, ser consideradas como resíduo semelhante aos resíduos provenientes de habitações, uma vez que, nem neste diploma, nem no Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE), são definidas as características e a composição dos RSU. Tendo em conta a composição física das areias removidas e a composição física dos RSU, a resposta a esta questão seria, obviamente, negativa. Mas, tendo em consideração as definições para os outros tipos de resíduos, não existe nenhum tipo onde as areias se enquadrem. No já referido Decreto-Lei n.º 239/97, para além dos resíduos urbanos, industriais e hospitalares era definida uma categoria designada «outros tipos de resíduos», onde eram englobados os resíduos não considerados como urbanos, industriais ou hospitalares. Essa categoria deixou de ser contemplada no Decreto-Lei n.º 178/2006. Assim, dos diferentes tipos de resíduos definidos no Decreto-Lei n.º 178/2006, apenas dois podem eventualmente enquadrar as areias – os resíduos urbanos e os resíduos inertes. Tendo em conta que as areias removidas têm uma forte componente orgânica e as exigências da definição para um resíduo ser considerado inerte, as areias não podem, pelo menos sem serem sujeitas a tratamento adequado, ser enquadradas nos resíduos inertes. Resta apenas o seu enquadramento nos resíduos urbanos, embora as diferenças entre as areias e os RSU sejam indiscutíveis.

Com o Decreto-Lei n.º 178/2006, a questão da produção diária não exceder os 1100 L por produtor deixa de ser uma das características para um resíduo ser considerado urbano, passando a constar no ponto 2 do artigo 5.º onde são estabelecidos os princípios da responsabilidade pela gestão dos resíduos. Assim, a quantidade produzida deixa de fazer parte da caracterização de um tipo de resíduos – resíduos urbanos – passando a definir a entidade responsável pela gestão dos mesmos. Se a produção diária de resíduos urbanos não exceder os 1100 L por produtor, a responsabilidade

pela gestão desses resíduos é dos municípios. Caso exceda os 1100 L, ou se trate de outro tipo de resíduos, a gestão dos mesmos é da responsabilidade do respectivo produtor.

A importância de definir o tipo de resíduo a que as areias pertencem prende-se principalmente com a sua gestão. O facto de não ser claro a que tipo de resíduo pertencem as areias, leva a que cada entidade interprete a questão de forma diferente, gerindo-as também de forma diferente. Embora o destino final destas areias seja a sua deposição em aterro, a forma como chegam ao seu destino e o custo envolvido diverge.

Outro problema que se coloca com a indefinição do tipo de resíduo a que pertencem as areias é em que classe de aterro – aterro para resíduos inertes, aterro para resíduos não perigosos ou aterros para resíduos perigosos – devem ser depositadas. Embora existam apenas estas três classes de aterros, as licenças emitidas pelas entidades competentes estabelecem o tipo de resíduos que o aterro pode receber, ou seja, RSU, resíduos industriais banais (RIB), etc. Cria-se assim uma dificuldade acrescida. Além de não estar estabelecido claramente que tipo de resíduo são as areias, também existem disparidades quanto à sua admissão ou não nos vários aterros, ficando ao critério da entidade gestora do aterro sanitário.

Com a aprovação do PIRSUE e do novo Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II) estas questões continuam a não ser clarificadas. Contudo o PIRSUE refere o problema da actual classificação dos aterros, onde não existe diferenciação de requisitos técnicos para aterros que recebem RSU ou outros resíduos não perigosos. Embora os aterros para RSU tenham sido licenciados para este tipo de resíduos, não há razões técnicas impeditivas da recepção de outros resíduos não perigosos. Uma das acções a tomar, identificadas no PIRSUE, diz respeito à clarificação da tipologia dos RSU e dos resíduos equiparados a RSU. Quando esta acção for concretizada poder-se-á analisar se as areias podem ou não ser incluídas em alguma destas tipologias. Outra acção que consta neste documento com especial relevância nesta matéria, é a possibilidade dos aterros para RSU poderem contribuir para a resolução dos problemas inerentes à gestão de outros tipos de resíduos não perigosos, nomeadamente RIB, permitindo deste modo sinergias e economia de recursos.

O que se verifica actualmente é que, quando a produção diária não excede os 1100 L, as areias são colocadas em contentores de RSU e recolhidas, tratadas e depositadas como tal, sem haver qualquer tipo de análise às areias. Quando as produções são mais elevadas as areias são sujeitas a análises, determinando, em conformidade com o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, a classe de aterro para a qual têm de ser encaminhadas. Ou seja, as análises feitas às areias não determinam o tipo de resíduo em que se podem enquadrar, determinam sim a classe de aterro em que podem ser depositadas, tendo em conta os valores e os parâmetros estabelecidos pela legislação. No caso de só serem aceites em aterros de resíduos perigosos, não havendo em Portugal nenhum aterro dessa

classe, têm de ser encaminhadas para Espanha, aumentando significativamente os custos de deposição – cerca de 95 €/t.

Em suma, as areias são actualmente consideradas um resíduo, embora não seja claro o tipo de resíduo que são, e o seu destino é a deposição em aterro, cuja classe depende do resultado das análises sobre o resíduo e sobre o eluato, segundo os critérios de admissão em aterro que constam na tabelas n.º 2 e 3 do anexo III, do referido Decreto-Lei n.º 152/2002.

1.5.2. As Areias como um Produto

No âmbito desta dissertação, mais importante do que a categoria de resíduos a que pertencem as areias e o tipo de aterro em que são depositadas, é o facto de serem um resíduo que pode ser valorizado e convertido em material secundário.

Nas últimas décadas a gestão de resíduos tem sofrido progressos consideráveis, impulsionados pela consciencialização de que os recursos não são inesgotáveis e os locais para deposição final de resíduos tendem a escassear.

Com o aumento da população a nível mundial e da qualidade de vida, a quantidade de resíduos tem vindo a aumentar significativamente e a sua composição foi fortemente alterada: a fracção orgânica desceu e aumentou a componente de embalagens, principalmente de papel e cartão e plástico. Segundo MARTINHO (2006), apesar da História revelar que o problema dos resíduos tem acompanhado a evolução da civilização, no final do século XX os resíduos transformaram-se num fenómeno social e num dos grandes dilemas das sociedades contemporâneas, com largo espectro social, económico, tecnológico, político, ambiental e jurídico.

A política de gestão de resíduos nacional e comunitária tem evoluído no sentido de evitar e reduzir a produção de resíduos, bem como do seu carácter nocivo para o ambiente e para a saúde pública. A Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro, relativa aos resíduos perigosos, a Directiva n.º 99/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterro, e a Directiva n.º 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à gestão de resíduos, são um bom exemplo dessa evolução. A legislação tem sido cada vez mais restritiva quanto à deposição de resíduos em aterro, sendo privilegiados outros usos ou destinos. A mais recente legislação europeia em matéria de gestão de resíduos – a já referida Directiva n.º 2006/12/CE, transposta pelo Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro – estabelece uma hierarquia de gestão de resíduos. Essa hierarquia, baseada num quadro de sustentabilidade, aposta primeiramente na prevenção dos resíduos. Quando tal não for possível, deve-se preferencialmente optar pela sua reutilização, reciclagem ou valorização (orgânica e material ou energética). E só se nenhuma destas opções for viável é que se deve depositar os resíduos em aterro. Ou seja, segundo a hierarquia estabelecida, o aterro é visto como última alternativa – destino último. O aterro é considerado a pior

opção em termos ambientais, implicando uma perda de recursos e podendo transformar-se numa responsabilidade ambiental futura.

A estratégia para a prevenção e reciclagem dos resíduos é concretizada pela comunicação da Comissão, de 21 de Dezembro de 2005, intitulada "Avançar para uma utilização sustentável dos recursos: Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos". Neste documento é enfatizada a importância da prevenção dos resíduos e da sua reciclagem, encarando os resíduos não como uma fonte de poluição mas sim como uma oportunidade. Este documento tem especial relevância no tema desta dissertação porque aborda o problema da falta de critérios da reutilização de um resíduo: quando é que um resíduo, depois de valorizado, deixa de ser um resíduo e passa a ser encarado como um produto? Segundo esta comunicação, quando os parâmetros que respondem a esta questão estiverem estabelecidos, haverá uma redução significativa dos custos administrativos relacionados com a legislação de resíduos.

A proposta de directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Dezembro de 2005, relativa aos resíduos, pretende, entre outras coisas, introduzir procedimentos que permitam definir normas mínimas de qualidade. As normas a definir devem permitir avaliar quando é que um resíduo, depois de sujeito a tratamento adequado, deixa de o ser passando a ser um produto, material ou substância secundária. Para que um resíduo passe a produto, material ou substância secundária é necessário assegurar que existe mercado para escoá-los e que reúnem as condições necessárias para entrar nesse mesmo mercado. Os critérios a definir devem ter em conta quaisquer riscos ambientais e garantir um nível elevado de protecção ambiental e da saúde humana.

A possibilidade de reutilização das areias removidas nas ETAR vai ao encontro das novas directrizes nacionais e europeias. Desviando este resíduo da sua deposição em aterro diminui-se por um lado o volume de resíduos depositados em aterro e por outro a sua valorização poderá contribuir para diminuir a quantidade de inertes extraídos. Tendo em conta a produção de areias estimada anteriormente, só em Portugal, poderão anualmente ser desviadas dos aterros cerca de 10.200 toneladas de resíduos.

A actual ausência de critérios dificulta o desenvolvimento deste trabalho e as conclusões que dele possam ser retiradas. Contudo, espera-se que esta dissertação possa de alguma forma contribuir para a definição desses mesmos critérios.

1.6. VALORIZAÇÃO DAS AREIAS COMO UM PRODUTO

As areias removidas nas ETAR podem ter um forte potencial de reutilização uma vez que são constituídas maioritariamente por material inerte. A sua reutilização traz numerosas vantagens quer em termos ambientais quer em termos económicos. Neste ponto pretende-se enumerar algumas das vantagens mais importantes da valorização das areias e os potenciais usos que vão ser abordados no âmbito desta dissertação.

1.6.1. Vantagens Ambientais e Económicas

1.6.1.1. Vantagens Ambientais

As duas principais vantagens ambientais resultantes da reutilização das areias removidas nas ETAR prendem-se com a redução da quantidade de resíduos a depositar em aterro e a redução da quantidade de inertes extraídos.

Tal como referido anteriormente, a hierarquia da gestão de resíduos classifica a deposição em aterro como destino último e apenas quando não existe outra alternativa viável. A reutilização das areias permite ir ao encontro das novas directrizes estabelecidas, procurando alternativas ao cenário actual, ou seja, à deposição das areias em aterro. Além disso, a sua reutilização contribui para atingir as metas comunitárias estabelecidas para a diminuição de resíduos depositados em aterro e o aumento da quantidade de resíduos valorizados.

Por outro lado, embora as actividades de extracção de areia sejam de grande importância para o desenvolvimento social e económico, são igualmente responsáveis por impactes ambientais negativos, alguns inclusive irreversíveis.

A extracção abusiva de materiais inertes tem constituído um problema ambiental, e mesmo de segurança, tendo resultado na necessidade de definir normas que permitam disciplinar a extracção de inertes através do estabelecimento de metas, conduzindo à adopção de planos específicos para o desassoreamento e regularização dos cursos de água com extracção de inertes. Com esse intuito foi aprovado o Despacho Normativo n.º 14/2003, de 14 de Março.

A extracção de inertes pode afectar gravemente as condições de funcionalidade das correntes, o uso das águas para diversos fins, a integridade dos leitos e margens, a segurança das obras e, de uma forma geral, as características dos ecossistemas, introduzindo alterações no seu funcionamento susceptíveis de conduzir a situações de ruptura. Isto leva a que o objectivo prioritário da extracção de inertes não seja o de atender às necessidades de mercado, mas sim subordinar-se não só às disponibilidades existentes, como também, e principalmente, obedecer a condicionamentos de natureza física, morfológica ou ecológica das zonas onde se realiza.

Embora a extracção de inertes seja considerada pelo Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de Fevereiro, como a intervenção de desassoreamento das zonas de escoamento e de expansão das águas de superfície, quer correntes, quer fechadas, bem como da faixa costeira, da qual resulte a retirada de materiais, tais como areia, areão, burgau, godo e cascalho, é a extracção de areias, devido à sua procura no mercado, que causa maiores pressões e, consequentemente, os maiores desequilíbrios.

Segundo o Relatório Síntese sobre a Caracterização das Regiões Hidrográficas do INAG, publicado em 2005, são extraídas anualmente cerca de 42,8 milhões de toneladas de inertes em Portugal Continental. Cerca de 54 % são extraídos em domínio hídrico e destes 64 % são extraídos no domínio das águas costeiras. A extracção de inertes representa uma pressão ambiental sobre os recursos naturais e a valorização das areias removidas nas ETAR pode contribuir para a diminuição dessa mesma pressão.

A reutilização das areias removidas nas ETAR pode, e deve, ser vista como uma fonte adicional deste recurso, tendo em conta porém que a quantidade de areias removidas nas ETAR corresponde a uma percentagem muito pequena, cerca de 0,024 %, da quantidade de inertes extraídos anualmente em Portugal. Mas, desde que as características das areias removidas tenham a mesma aplicabilidade das areias extraídas, a reutilização das primeiras pode contribuir para a diminuição da procura das segundas, diminuindo as pressões e contribuindo para a preservação dos recursos naturais, numa lógica de sustentabilidade.

1.6.1.2. Vantagens Económicas

O facto de haver reutilização das areias implica que estas não sejam depositadas em aterro, ou seja, não há custo de deposição, o que constitui uma vantagem económica para as entidades gestoras que actualmente suportam este custo. A estimativa do custo anual da deposição das areias em aterro feita no ponto 1.4.4 é cerca de 327.012 €, quantia essa que com a reutilização das areias pode ser poupada.

Mas além de se eliminar o custo com a deposição das areias, podem ser obtidas receitas com a introdução das mesmas no mercado. O custo dum tratamento complementar que permita a valorização das areias pode assim ser minimizado, ou mesmo eliminado, ou ainda numa perspectiva mais optimista pode ser obtido um saldo positivo entre o custo do tratamento e as receitas obtidas com a comercialização das mesmas, traduzindo-se numa vantagem económica para os sistemas de saneamento.

Se a areia reutilizada tiver um preço competitivo no mercado o seu uso poderá resultar em vantagens económicas para quem adquire este material. É necessário pois que o custo das areias reutilizadas seja ligeiramente mais baixo do que os das areias extraídas, de modo a constituir um incentivo à aquisição das reutilizadas em detrimento das extraídas.

1.6.2. Potenciais Usos que permitam a Valorização das Areias

1.6.2.1. Aterro Sanitário

Actualmente as areias removidas nas ETAR são depositadas em aterro como um resíduo. A ideia é utilizar estas areias em substituição de alguns materiais usados na concepção, operação e selagem do aterro, nomeadamente em algumas camadas do sistema de impermeabilização basal e da cobertura final do aterro e como terras de cobertura diária.

De acordo com a legislação em vigor, Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, um aterro de resíduos tem de contemplar um sistema de impermeabilização basal e dos taludes, estabelecendo no anexo II as condições gerais para todas as classes de aterros. O sistema de impermeabilização basal é constituído por uma barreira passiva e uma barreira activa (Figura 1.15). Segundo este Decreto-Lei, a camada drenante, constituinte da barreira activa, deve ter uma espessura mínima de 0,5 m e um coeficiente de permeabilidade K maior ou igual a 10^{-4} m.s^{-1} . Esta camada pode ser constituída por uma camada mineral permeável, com 0,20 m de material mineral natural de granulometria fina a média e 0,30 m de material mineral natural britado ou rolado (20 - 50 mm) (LEVY e CABEÇAS, 2006). As areias removidas nas ETAR podem constituir, se apresentarem as características referidas, a fracção da camada drenante constituída por material mineral natural de granulometria fina a média.

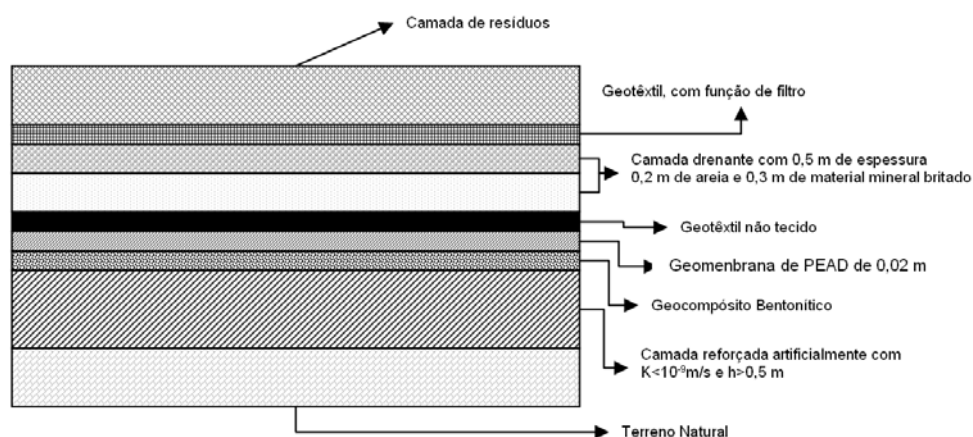


Figura 1.15— Sistema de impermeabilização basal de um aterro para RSU.

Na fase de exploração do aterro sanitário é feita a deposição dos resíduos. Para tornar a exploração mais equilibrada o aterro é concebido através de um conjunto de alvéolos que permitem a criação de sectores de enchimento independentes mas complementares. O enchimento processa-se basicamente pela construção de células diárias de resíduos, que correspondem ao volume diário dos mesmos, com um metro de altura e de estratos de resíduos que traduzem o espaço de nível do alvéolo preenchido. A sucessiva sobreposição de estratos constitui a massa de resíduos que perfaz o volume projectado (LEVY e CABEÇAS, 2006).

O método de exploração pode ser tradicional, por enfardamento, misto ou com trituração prévia dos resíduos. Independentemente do método usado é imprescindível a operação de cobertura dos resíduos. Desta operação depende o sucesso de exploração do aterro no que diz respeito aos aspectos fundamentais de ordem sanitária e ambiental. No final de cada dia deve proceder-se à cobertura dos resíduos com cerca de 15 a 20 cm de terras, mantendo uma pendente de 1,5 % no sentido das valas periféricas de drenagem (LEVY e CABEÇAS, 2006).

Segundo CORBITT (1998) a cobertura diária permite controlar os vectores de propagação de doenças, incêndios, odores, o espalhamento dos resíduos e proporciona um aspecto visual agradável e limpo. O facto de os resíduos estarem cobertos dificulta o acesso de pássaros, insectos ou roedores – principais vectores de transmissão de doenças aos humanos – a comida e a locais onde se possam reproduzir. A cobertura também reduz a exposição de material combustível a fontes de ignição que possam provocar incêndios dentro do aterro. Além disso pode restringir a propagação do incêndio no caso de explosão dos resíduos depositados. Como evita o contacto directo entre o vento e os resíduos ajuda a controlar odores e o espalhamento dos resíduos. A nível estético também é importante uma vez que dá um aspecto mais limpo ao aterro, tornando os resíduos depositados imperceptíveis.

Normalmente, quando o aterro é em escavação, a terra usada para cobertura diária dos resíduos é a terra proveniente da escavação. Contudo, existem outros tipos de aterros, nomeadamente os aterros em extensão, que são concebidos acima do terreno natural, e os aterros confinados em depressão existente, como é o caso do aproveitamento de antigas pedreiras, explorações mineiras, areeiros, ravinas, etc. (LEVY e CABEÇAS, 2006). Nestes casos, em que não há escavação, são necessárias terras exteriores à obra para fazer a cobertura diária dos resíduos. O material utilizado para a cobertura não tem de ser necessariamente terras ou solo, podem ser usados materiais alternativos – indígenas ou comerciais – desde que assegurem as funções pelas quais é feita a cobertura dos resíduos. Os materiais indígenas são aqueles que, se não forem aproveitados, serão depositados no aterro como resíduos. O uso desses materiais, onde se incluem as areias removidas nas ETAR, permite um uso mais eficiente do espaço ocupado em aterro, reduzindo o volume de terras de cobertura (cerca de 10 % do volume total de resíduos) (CORBITT, 1998). Além disso, num aterro em extensão ou confinado em depressão existente, permite economizar o custo de terras de cobertura e do seu transporte até ao aterro.

Para aplicação das areias como terra de cobertura é preciso ter em conta a sua permeabilidade. Na fase de exploração o aterro está exposto às condições atmosféricas, nomeadamente à precipitação. O escoamento das águas pluviais e das águas lixiviantes (água dos próprios resíduos devido à humidade e à água formada no processo de degradação da fracção orgânica), através dos extractos de resíduos, é extremamente importante. Se o material de cobertura diária tiver uma baixa permeabilidade vai dificultar a drenagem das águas lixiviantes e do biogás que se acumulam em determinados pontos, criando respectivamente diferenciais de carga e pressão. Se as águas

lixiviantes não forem correctamente drenadas podem emergir, dificultando a degradação dos resíduos e os trabalhos de enchimento, ou atravessar as paredes do aterro podendo causar poluição difusa. Quanto ao biogás se não for drenado pode provocar explosões. Por isso, o coeficiente de permeabilidade do material a usar como cobertura diária deve ter um coeficiente de permeabilidade maior ou igual ao coeficiente de permeabilidade dos resíduos. Segundo KNOCHENMUS e WOJNAROWICZ (1998), o coeficiente de permeabilidade dos resíduos varia, normalmente, entre 10^{-4} m.s^{-1} e 10^{-6} m.s^{-1} , o que é comparável com a areia muito fina ou com areias que contêm material muito fino granuloso.

Na fase de selagem do aterro, que inicia logo que tenha sido atingida a sua capacidade máxima, é feita a cobertura final do aterro. A selagem do aterro e a sua integração paisagística são essenciais em termos de ordenamento do território e na minimização dos efeitos provocados pelos efluentes residuais (líquidos e gasosos), que durante vários anos se continuarão a produzir. A cobertura final (Figura 1.16) é uma parte fundamental da selagem do aterro, permitindo: minimizar o escoamento superficial; controlar a infiltração a fim de minimizar a produção de lixiviados; impedir a migração de lixiviados através dos taludes laterais; proteger as pessoas e animais do contacto directo com os resíduos; controlar a emissão de gases; e minimizar a possibilidade de ocorrência de incêndios (LEVY e CABEÇAS, 2006).

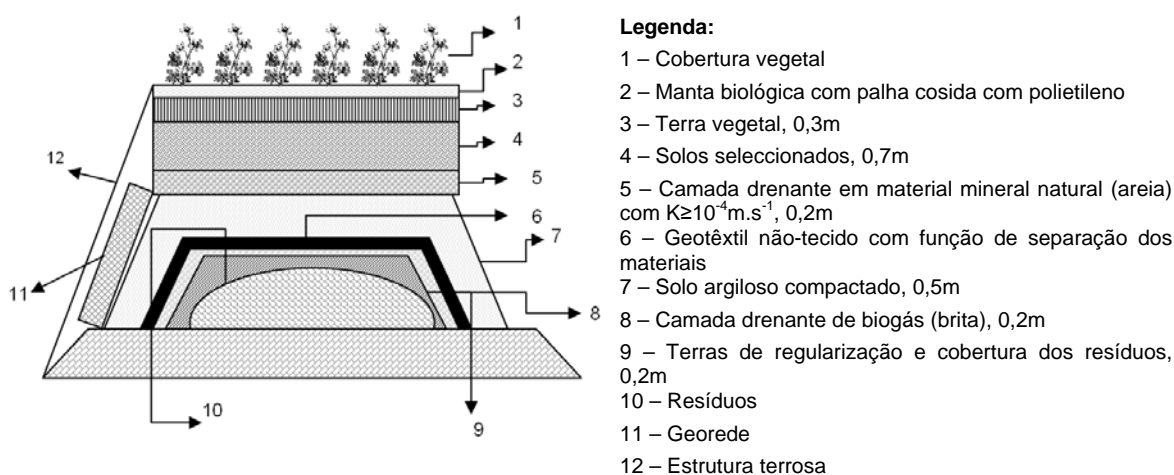


Figura 1.16 – Selagem final do aterro.

Também na cobertura final do aterro, desde que tenham as características exigidas, é possível reutilizar as areias, nomeadamente nas terras de regularização e cobertura dos resíduos (9) e na camada drenante em material mineral natural (5).

Assim, as areias removidas nas ETAR, que actualmente são depositadas no aterro como um resíduo, podem ser reutilizadas no sistema de impermeabilização basal, como terras de cobertura diária e ainda na selagem final do aterro, desde que a sua granulometria e o seu coeficiente de permeabilidade corresponda ao exigido.

Está actualmente a ser elaborado, a nível nacional, um diploma legal que visa, entre outros usos, a reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) na cobertura de aterros destinados a resíduos. Na versão *draft* desse diploma, a única exigência para que os solos e rochas, resultantes da actividade de construção, possam ser reutilizados na cobertura de aterros, é que não devem conter substâncias perigosas. Além de ser estabelecido apenas este critério, quando reutilizados para este fim, estes resíduos não necessitam de qualquer tipo de licenciamento.

1.6.2.2. Almofadas de Assentamento

Tanto a rede de distribuição de água para abastecimento como a rede de drenagem de águas residuais e de águas pluviais são, sempre que possível, enterradas de modo a evitar ao máximo o recurso a obras de arte (p.e. aquedutos) que encarecem significativamente a obra.

As almofadas de assentamento não são mais que uma camada de areia ou terra que é colocada no fundo da vala, funcionando como uma “almofada” para a tubagem. Esta camada tem como função a regularização do fundo da vala, a protecção da tubagem de materiais que a possam danificar (p.e. pedras com arestas vivas), e permitir o perfeito assentamento da tubagem quando a vala é fechada e o material compactado.



Figura 1.17 – Vala aberta com almofada de assentamento em areia para instalação de tubagem.

Actualmente não existem normas quanto à natureza, composição e características do material que pode ser usado como almofada de assentamento. Normalmente, uma vez que não existem normas nacionais, o material a utilizar é especificado no caderno de encargos de cada obra, sendo da responsabilidade do dono de obra.

O Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto, estabelece no seu artigo 27.º que se a escavação for feita em terreno rochoso as tubagens (tanto de abastecimento de água como de drenagem de águas residuais ou pluviais) devem ser assentes, em toda a sua extensão, sobre uma camada uniforme previamente preparada de 0,15 m a 0,30 m de espessura, de areia, gravilha ou material similar cuja maior dimensão não exceda 20 mm. Ou seja, acaba por deixar em aberto as

especificações do tipo de material a usar, apenas regula a sua granulometria e a espessura da almofada de assentamento.

Sempre que o terreno permite as almofadas de assentamento são feitas com as terras da própria escavação, isentas do material grosseiro por crivagem, o que permite economizar tempo, espaço e o custo da obra. Contudo, existem determinados terrenos cujo material escavado não permite a sua aplicação nas almofadas de assentamento. Surge assim a necessidade do emprego de material exterior que possua as características adequadas, o que constitui uma oportunidade para a reutilização das areias removidas nas ETAR. Pelo decreto regulamentar anteriormente referido, o único parâmetro definido para o material a aplicar nas almofadas de assentamento é a maior dimensão do grão, parâmetro esse que se determina pela análise granulométrica.

Devido à proveniência das areias a reutilizar a sua aplicação deve restringir-se aos colectores de águas residuais, a não ser que se assegure que o seu uso em tubagens de abastecimento de água não constitui qualquer risco para a saúde pública. Além disso é necessário assegurar que o seu armazenamento na obra e o seu manuseamento não constitui qualquer risco quer para a saúde pública quer para o ambiente.

1.6.2.3. Estradas: terraplenagens e pavimentação

De acordo com a definição que consta no Vocabulário de Estradas e Aeródromos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), uma estrada é “uma via de comunicação terrestre especialmente destinada ao trânsito de veículos”. A principal finalidade deste tipo de infra-estrutura é assegurar a existência de uma superfície que permita a circulação de veículos com comodidade, segurança e o mais económica possível, durante um determinado período – horizonte de projecto – e para as diferentes condições ambientais que possam ocorrer. Para atingir estes objectivos a superfície do pavimento deve ser, sempre que possível, plana e pouco sinuosa. Como o terreno natural onde a estrada se desenvolve raramente tem as características ideais é necessário moldá-lo. Uma vez é necessário retirar material (escavação) outras é necessário colocar material (aterro). Ao balanço entre escavação e aterro dá-se o nome de movimentação de terras. Esta movimentação, designada por terraplenagem, permite obter um traçado mais homogéneo por modelação do terreno natural.

A construção duma estrada divide-se essencialmente em duas fases: a primeira consiste na terraplenagem (escavação e aterro) e a segunda na pavimentação. Nas zonas onde é necessária a execução de aterros e nas várias camadas de pavimentação são empregues agregados, nomeadamente areias.

Quando se define o traçado é calculado o volume de terras escavado e o volume de terras necessário para aterro, avaliando-se a compensação entre ambos. O ideal seria a compensação ser total

evitando as zonas de depósito e de empréstimo, minimizando o custo de construção. Contudo é raro conseguir-se a compensação total entre os volumes. Normalmente há apenas uma compensação parcial, sendo necessária uma zona de depósito, caso o volume escavado seja maior que o volume necessário para aterro, ou uma zona de empréstimo, caso o volume necessário para aterro exceda o volume escavado. Se for necessário o empréstimo de terras, as areias removidas nas ETAR poderão ter interesse económico nas áreas em que é necessário aterro, principalmente se a obra se situar perto da ETAR, minimizando os custos com o material e com o transporte.

Na execução de aterros podem distinguir-se seis zonas:

- Fundação do aterro, terreno sobre o qual será construído o aterro;
- Parte Inferior do Aterro (PIA), parte do aterro que assenta sobre a fundação;
- Corpo ou núcleo do aterro, parte do aterro compreendida entre a fundação e a parte superior do aterro;
- Parte Superior do Aterro (PSA), que deve ter entre 0,40 m e 0,85 m de espessura por baixo do nível final, sobre a qual assenta a camada de leito do pavimento, que integra a fundação do pavimento;
- Leito do pavimento, última camada do aterro, que tem como objectivo garantir boas condições de fundação ao pavimento, não só durante a vida da obra, como também durante a obra, garantindo condições de tráfego e permitindo boas condições de compactação da primeira camada do pavimento;
- Espaldar do aterro, zona do aterro que inclui os taludes, compreendida entre a superfície e uma faixa de pelo menos 4 m, e que pode ter por vezes função de maciço estabilizador.

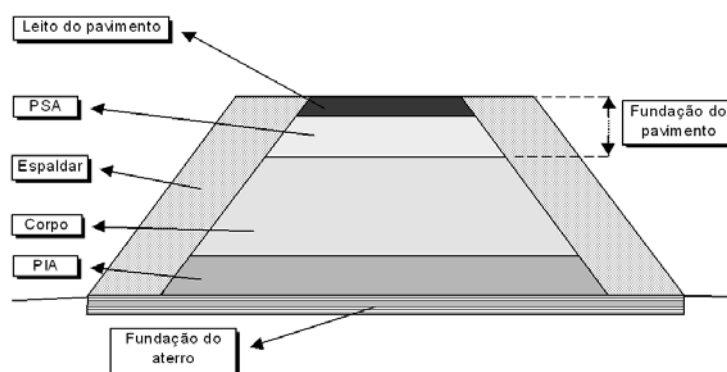


Figura 1.18 – Zonas que constituem o perfil transversal em aterro (QUARESMA, 2006).

Os requisitos dos materiais a usar na construção dos aterros, a forma como devem ser colocados em obra e como devem ser compactados, são especificados no caderno de encargos (CE) de cada obra.

À medida que se vão construindo as diferentes zonas do aterro as especificações dos materiais tendem a ser mais exigentes.

Os materiais utilizados na construção das diferentes camadas, em especial na PIA, devem ser preferencialmente não plásticos ou com um índice de plasticidade inferior a 50%, ou seja, material que não absorva a água permitindo uma boa drenagem das águas pluviais, evitando inundações que poderiam afectar o tráfego e a estabilidade das camadas, pondo em risco a própria infra-estrutura. Além disso devem estar isentos de ramos, folhas, raízes, ervas, turfa, lixo ou outros detritos orgânicos e de materiais com propriedades físicas ou químicas indesejáveis que requeiram medidas especiais para escavação, manuseamento, armazenamento, transporte e colocação (ROQUE, 2007).

Na sua maioria os materiais constituintes dos aterros são solos provenientes da própria escavação ou de zonas de empréstimo. A classificação de solos mais utilizada para propósitos de engenharia, nomeadamente na construção de estradas, é a classificação unificada de solos desenvolvida por Artur Casagrande e publicada na especificação D 2487 da American Society for Testing and Materials (ASTM) (ROQUE, 2007). Em Portugal existe uma classificação dos solos para fins rodoviários que consta na especificação E240-1970 do LNEC, e tem em consideração as características físicas do solo e o seu comportamento em estradas. Esta especificação baseia-se no cálculo do índice de grupo, para o qual é necessário conhecer a granulometria, o limite de liquidez e o índice de plasticidade do solo.

Tomando como referência um caderno de encargos de uma obra de aterro tem-se que, do ponto de vista granulométrico, os materiais a utilizar na construção dos aterros são: solos, materiais rochosos (enrocamento) e materiais do tipo solo-enrocamento. Os solos, neste CE, são definidos granulometricamente como os materiais que apresentam menos de 30 % de material retido no peneiro ASTM de 19 mm (3/4").

Quadro 1.20 – Requisitos dos materiais para cada zona de aterro (ROQUE, 2007).

Zona do Aterro	Requisitos dos Materiais
Parte Inferior do Aterro	Pouco sensíveis à água Classes S2, S3, S4 e S5 ⁽¹⁾ ≤ 5 % de material passado no peneiro ASTM n.º 200
Corpo do Aterro	Podem ser usados os solos de pior qualidade Dimensão máxima dos elementos ≤ 2/3 da espessura da camada, depois de compactada
Parte Superior do Aterro	Solos com melhores características geotécnicas, que satisfaçam simultaneamente as classes S2, S3, S4 e S5 ⁽¹⁾
Leito do Pavimento	Solos de boa qualidade Dimensão máxima de 75 mm ≤ 20 % de material passado no peneiro ASTM n.º 200 0 % de matéria orgânica

⁽¹⁾ Classes definidas no caderno de encargos (ver Anexo I).

Depois da última camada do aterro (leito do pavimento) é colocado o pavimento. Este permite a circulação do tráfego em determinadas condições de serviço e transmitir as solicitações dos rodados dos veículos à infra-estrutura: terreno, obra de arte, etc.

Os pavimentos caracterizam-se por serem estruturas estratificadas, compostas por um conjunto de camadas sobrepostas, aproximadamente horizontais e de alguns centímetros de espessura, constituídas por diversos materiais, adequadamente compactados, que permitam suportar a repetida aplicação de cargas transmitidas pelos pneus dos veículos.

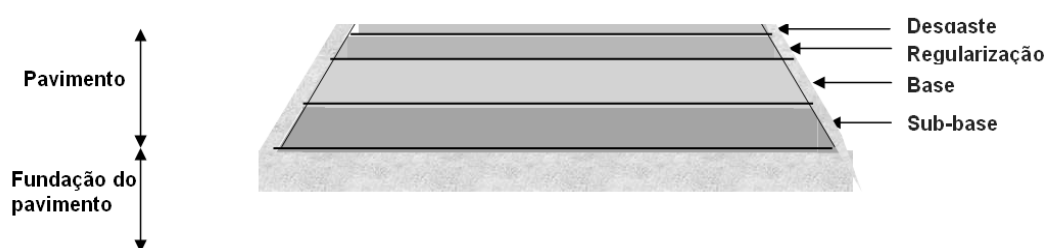


Figura 1.19 – Camadas constituintes do pavimento (QUARESMA, 2006).

Na pavimentação de estradas a resistência e o custo dos materiais são geralmente decrescentes com o aumento da profundidade em que se encontra a camada. Na camada de desgaste colocam-se os materiais incorporando ligantes betuminosos ou hidráulicos adequados para garantir a manutenção das características superficiais pretendidas. Quando a espessura total de camadas ligadas for elevada, ou quando se pretenda uma maior regularidade superficial, poderão ser realizadas duas camadas superficiais, sendo a camada superior, como já foi referido, designada de camada de desgaste e a camada inferior designada de camada de regularização (ou de ligação).

A camada de base assegura essencialmente um papel estrutural, distribuindo e reduzindo as tensões verticais sobre a sub-base e o solo de fundação. Para tráfegos ligeiros a médios é formada, em geral, por materiais granulares (britados ou não britados). Para tráfegos intensos são utilizados materiais incorporando ligantes betuminosos ou hidráulicos.

A camada de sub-base assegura um adequado apoio uniforme da camada de base e proporciona, uma plataforma para a circulação do tráfego de obra, para o espalhamento da camada de base e para a compactação desta. Desempenha às vezes também uma função drenante e anti-contaminante, evitando a subida de material fino do solo de fundação para a camada de base. No caso de solos de fundação de boa qualidade a camada de sub-base pode não existir. Esta camada é geralmente formada por solos granulares seleccionados no caso de tráfegos ligeiros e por materiais granulares britados no caso de tráfegos intensos. Poderão ainda utilizar-se na camada de sub-base solos tratados com ligantes hidráulicos (p.e. solo-cimento).

Os principais materiais usados em pavimentação são: solos, agregados, filer, ligantes betuminosos, ligantes hidráulicos e pozolânicos, água e materiais diversos (e.g. barras de aço). Estes materiais são usados nas diferentes camadas de pavimentação e devem ser de boa qualidade, isentos de detritos, de matéria orgânica e de quaisquer outras substâncias nocivas.

Na definição das características dos materiais a usar na pavimentação de uma estrada, o respectivo caderno de encargos estabelece que os agregados devem ser bem limpos, duros, de qualidade uniforme e isentos de materiais decompostos, de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais. Estabelece ainda que podem ser empregues materiais granulares não tradicionais desde que justificada a proposta da sua utilização. As dimensões nominais (d/D) que podem ser aplicadas são diversas, salientam-se no entanto as dimensões 0/4, 0/6 e 2/4 mm onde se enquadram as areias (QUARESMA, 2007).

Segundo WRIGHT e DIXON (2004) as areias, sendo um tipo de solo de granulometria grossa (0,08 a 2 mm), com pouca ou nenhuma coesão, caracterizadas pela sua estabilidade relativa quando confinada e pela sua elevada permeabilidade, são muito aplicadas nas diversas zonas de aterro e na sub-base e na base do pavimento de estradas. São também usadas em combinação com o cimento para formar betões para bases, sub-bases, camada de desgaste e estruturas de drenagem. Os materiais usados na construção de estradas têm de ser duros e resistentes ao desgaste devido à acção do equipamento de compactação, do tráfego e do efeito das condições atmosférica.

O uso das areias como agregado neste tipo de infra-estruturas está dependente da verificação das propriedades mais importantes dos agregados para a construção de estradas, que segundo WRIGHT e DIXON (2004) são:

- Tamanho das partículas e granulometria;
- Dureza ou resistência ao desgaste;
- Durabilidade ou resistência às condições atmosféricas;
- Gravidade específica e absorção;
- Estabilidade química; e,
- Grau de limpeza das areias.

As areias removidas nas ETAR, para poderem ser aplicadas nas diferentes camadas de aterro e pavimento, têm de verificar os valores estabelecidos para estas mesmas propriedades, de modo a assegurar que o seu uso não vai diminuir a qualidade, resistência ou durabilidade da infra-estrutura.

Actualmente já são aplicados alguns subprodutos em usos rodoviários, nomeadamente o emprego de escórias como agregado e subprodutos industriais hidráulicos e pozolânicos. Um desses subprodutos é a “escória granulada” de alto forno, um material que se apresenta sob a forma de uma areia grossa (0/5 mm ou 0/6 mm) (BRANCO, 1988₁).

Embora em Portugal a construção dos aterros de obras rodoviárias continuem a ser essencialmente constituídos por solos, existe uma preocupação noutros países, e já alguma em Portugal, para o uso de materiais não conformes às especificações correntes, como o caso de subprodutos industriais, subprodutos provenientes de desperdícios ou de demolições (BRANCO, 1988₂). Segundo BRANCO, (1988₁), a utilização destes produtos “não convencionais” deve-se a várias razões, nomeadamente:

- a uma potencial economia da construção, quer devido à proximidade entre o local de produção dos materiais e as obras onde são empregues, quer devido ao preço de venda do produto ser mais baixo, umas vezes para facilitar o seu escoamento outras vezes por os custos inerentes à sua utilização serem efectivamente reduzidos;
- por apresentarem características técnicas interessantes, tanto no que respeita às condições de aplicação na construção de estradas como quanto ao comportamento dos materiais em obra.

A estas razões vieram juntar-se as ligadas à preservação do ambiente, procurando-se com o emprego desses subprodutos otimizar a utilização dos recursos e diminuir a produção de resíduos.

Desde que se verifique que as areias removidas nas ETAR têm um comportamento em tudo semelhante ao das outras areias, no que diz respeito ao desempenho da sua função, podem ser usadas directamente nas diferentes zonas de aterro, camada de base e sub-base e como agregado nas várias camadas de pavimentação.

No caso de aplicação na construção dos aterros devem cumprir as especificações que constam no caderno de encargos da obra. Se forem incorporadas em betões para construção de estradas e outros pavimentos deve obedecer também à NP EN 12620:2003 ou, no caso de aplicação em misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação, deve obedecer à NP EN 13043:2004.

Existe ainda uma norma sobre agregados, a NP EN 13242:2005, que regula os agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária. No caso das areias serem aplicadas para este fim terão de obedecer cumulativamente aos requisitos especificados nesta norma.

Todas as normas acima referidas especificam os requisitos geométricos, os requisitos químicos e os requisitos físicos, referindo no anexo ZA de cada uma as exigências ou outras disposições das Directivas da União Europeia, que o agregado tem de verificar para poder ser aplicado mediante o estabelecido por cada norma.

1.6.2.4. Construção Civil: betão e argamassas

Os agregados foram desde sempre, e continuam a ser, um dos materiais mais usados na construção, quer para formar outros materiais de construção (p.e. betão), quer como material de construção propriamente dito (p.e. gravilha usada em arranjos paisagísticos).

Embora os agregados em geral, e as areias em particular, tenham numerosas aplicações na área da construção, este trabalho incidirá apenas no estudo da possibilidade de aplicação das areias removidas nas ETAR no fabrico do betão e de argamassas.

Segundo COUTINHO (1997₁) o betão é um material constituído pela mistura, devidamente proporcionada, de pedras e areia, com um ligante hidráulico, água e, eventualmente, adjuvantes. A propriedade que os produtos da reacção do ligante com a água têm de endurecer, confere à mistura uma coesão e resistência que lhe permite servir como material de construção. Segundo o mesmo autor, tal como a natureza do material utilizado pelo Homem marca uma época da História da Civilização – a pedra, o bronze, o ferro – o betão e o betão armado marcam a sua presença no século XX.

Tendo em consideração o fabrico e as propriedades do betão é necessário que as proporções dos seus componentes, incluindo as diferentes dimensões das partículas que compõem o agregado, obedeçam a regras definidas. É preciso obter primeiro uma mistura com a consistência plástica necessária para poder ser moldada com as formas que se desejam e que endureça gradualmente até adquirir a resistência adequada (COUTINHO, 1997₁). “Em segundo lugar o sólido obtido deverá ter a maior compacidade e estabilidade química possíveis, de modo a conseguir uma elevada resistência às forças exteriores e às acções meteorizantes.” (COUTINHO, 1997₁)

Para se ter uma percepção da quantidade de agregados empregues no fabrico de betão refere-se, no Quadro 1.21, uma composição de referência do betão à data da publicação da bibliografia utilizada, onde o agregado grosso ainda é referido como inerte grosso. Com a posterior publicação das normas europeias sobre esta matéria, a composição do betão sofreu algumas alterações.

Quadro 1.21 – Composição do betão (COUTINHO, 1997₂).

Materiais	Quantidade
Inerte Grosso 19/38	517 kg/m ³
Inerte Grosso 9,5/25	350 kg/m ³
Areia	720 kg/m ³
Cimento	350 kg/m ³
Água	165 L/m ³
Adjuvantes (0,2% da massa do cimento)	0,700 kg/m ³

Embora todas as componentes do betão, bem como as suas proporções, tenham um papel determinante nas características finais do mesmo, apenas será aprofundada a questão dos agregados devido à sua relevância no âmbito desta dissertação.

Designamos normalmente por agregados as partículas de rochas com dimensões que podem variar entre os 20 cm e os 0,1 mm, e cujas características afectam profundamente o comportamento do betão. A aplicação de agregados no fabrico do betão tem duas vantagens: uma económica, uma vez que reduz a quantidade de ligante hidráulico (cimento) a aplicar, e outra técnica, diminuindo as retracções, dado que os agregados não diminuem de volume. É por estes motivos que o volume de agregados constitui cerca de 70 % a 80 % do volume do betão (COUTINHO, 1997₁).

A incorporação dos agregados na composição do betão não pode ser arbitrária, é indispensável fazê-la de modo a que a mistura possua a maior trabalhabilidade e se obtenha um sólido o mais compacto possível (COUTINHO, 1997₂). Durante anos foram aplicados agregados no fabrico do betão cujas características e comportamento eram bem conhecidos, dando provas da sua qualidade. Contudo, com a crescente procura de agregados para construção foi necessário procurar alternativas que fizessem face a essa procura. Foi então necessário procurar novos jazigos de materiais cujas características e comportamento não eram conhecidos, e soluções alternativas como a utilização de subprodutos industriais e até de agregados fabricados de propósito. Foi neste contexto que se desenvolveram os ensaios sobre a natureza física do agregado como: a resistência, a forma, a granulometria e a presença de impurezas (lodo, argila, matéria orgânica, carvão, linhite, mica, partículas pouco resistentes, etc.). A aplicação dos agregados é pois condicionada pelas suas propriedades. Segundo COUTINHO (1997₁), as propriedades essenciais que se exigem aos agregados são de natureza geométrica, física e química:

- adequada forma e dimensões proporcionadas, segundo determinadas regras;
- adequada resistência às forças;
- adequadas propriedades térmicas;
- adequadas propriedades químicas relativamente ao ligante e às acções exteriores;
- isenção de substâncias prejudiciais.

As propriedades a que os agregados a utilizar no fabrico de betão devem obedecer estão regulamentadas pela NP EN 12620:2003. Essas propriedades passam pela geometria das partículas, pelos requisitos físicos e químicos e pela avaliação da conformidade. Contudo, quando se trata de aplicar agregados até então inexplorados com comportamento desconhecido, como é o caso das areias removidas nas ETAR, os ensaios normalizados e requeridos podem ser bastante úteis, mas a melhor informação que se pode obter sobre a qualidade de um agregado é a observação do comportamento do betão feito com esse mesmo agregado.

Existem várias formas de classificar os agregados tendo em consideração a petrografia, a massa volúmica, a baridade, o modo como foram obtidos ou a dimensão das partículas. Na classificação segundo a dimensão das partículas o agregado que fica retido no peneiro com malha de 4,75 mm de abertura é designado como agregado grosso, que pode ser godo quando é de origem sedimentar, rolado (calhau ou seixo) ou brita quando é partido artificialmente (britado). O agregado com dimensões inferiores a 4,75 mm é designado por areia, rolada quando natural de origem sedimentar, e britada quando obtida por fractura artificial (COUTINHO, 1997₁). Já a NP EN 12620:2003 define agregado grosso como os agregados de maiores dimensões, cuja maior dimensão é maior ou igual a 4 mm e a mínima dimensão é maior ou igual a 2 mm, “areia” como os agregados de menores dimensões cuja dimensão superior é de 4 mm, e “finos” como a fracção das partículas de um agregado que passa no peneiro de 0,063 mm. Embora estas duas classificações sejam feitas com base na dimensão das partículas, a dimensão que separa o agregado grosso da areia é diferente. Esta diferença deve-se ao facto de a abertura da malha do peneiro que convencionalmente separa o agregado grosso da areia ser 4,75 mm nas especificações americanas e 4 mm nas normas europeias publicadas posteriormente.

Uma vez que o agregado influi em todas as propriedades do betão, e especialmente na sua resistência através da sua composição granulométrica, da sua própria tensão de rotura e da resistência da ligação entre a pasta de cimento e a sua superfície, é importante conhecer a resistência mecânica do agregado pelo que são realizados alguns ensaios. Esses ensaios englobam a determinação da tensão de rotura da rocha, ensaios de esmagamento, ensaios de abrasão e desgaste, ensaios sobre partículas individuais e ensaios comparativos. Quando não for possível realizar os outros ensaios, os ensaios comparativos podem ser sempre realizados uma vez que a qualidade do agregado para o fabrico de betão é avaliada pela determinação da tensão de rotura de um betão com ele fabricado, em comparação com a de um betão padrão amassado em condições rigorosamente idênticas. Este é o método geralmente seguido na avaliação da resistência da areia (COUTINHO, 1997₁).

Além da resistência mecânica, a resistência da ligação cimento-agregado constitui um factor importante em todas as propriedades, como a tensão de rotura, a permeabilidade, a capilaridade, a resistência à congelação, a contracção e a fluência. Esta ligação pode ser: física, cuja aderência resulta da forma, rugosidade, porosidade e absorção da superfície do agregado, e da existência de partículas soltas e estranhas nessa superfície; epitáxica, quando se verifica uma continuidade entre as estruturas do agregado e da pasta de cimento hidratado; ou química, quando se verificam fenómenos químicos que ocorrem na superfície de contacto do agregado com a pasta de cimento durante a hidratação.

A forma das partículas é uma propriedade do agregado que influi muito sobre propriedades do betão como a trabalhabilidade, ângulo de atrito interno, compactidade e, em última análise, sobre todas as que dependem da quantidade da água de amassadura. Para determinar a forma das partículas pode

recorrer-se a vários métodos entre eles a determinação do coeficiente volumétrico. Mas, no caso das areias o método mais apropriado é a determinação da forma a partir da medição de tempos de escoamento do agregado. Outras propriedades como a resistência à congelação da água, a resistência à embebição e secagem, as propriedades térmicas, o módulo de elasticidade e as reacções expansivas entre o cimento e o agregado, devem também ser consideradas aquando a avaliação da qualidade do agregado. As reacções expansivas entre o cimento e o agregado assumem um papel relevante uma vez que há possibilidade de se originarem reacções químicas que, além de elevadas expansões que anulam a coesão do material, conduzem à formação de substâncias que estão longe de ter as propriedades aglomerantes pretendidas (COUTINHO, 1997₁).

Se o agregado contiver impurezas estas podem interferir química ou fisicamente nas propriedades do betão. As partículas que dão origem a reacções químicas expansivas com o cimento, as impurezas de origem orgânica e as impurezas de origem mineral (saís), são exemplos de impurezas que podem interferir quimicamente com o betão. A nível físico as impurezas podem ser: partículas com dimensões iguais ou inferiores às do cimento, que interferem na estrutura do material hidratado, enfraquecendo-o; partículas com baixa resistência; e partículas com expansões e contracções excessivas devidas à alternância entre embebição e secagem.

A presença de impurezas, nomeadamente de matéria orgânica é muito mais importante na areia do que no agregado grosso, pois este lava-se com maior facilidade e tem uma área superficial inferior. A presença de matéria orgânica, especialmente se for constituída por ácidos húmicos, não sendo em geral uma matéria com composição química constante pode interferir na presa e endurecimento do cimento, retardando a presa e a resistência inicial do betão, mas, no caso de ser particularmente perigosa, pode reduzir também a resistência final, uma vez que diminui a sua compacidade. A importância da remoção da matéria orgânica prende-se com a acção dos ácidos orgânicos, esta resulta da combinação com o hidróxido de cálcio libertado pela hidratação dos componentes do cimento, o que faz diminuir o pH da solução de contacto com esses compostos, ou da sua adsorção pelas partículas de cimento, em ambos os casos retardando ou impedindo a sua hidratação subsequente, conforme a quantidade de ácido existente (COUTINHO, 1997₁).

Para avaliar a presença de matéria orgânica constituída por ácidos húmicos é universalmente usado um ensaio colorimétrico que permite também avaliar a quantidade prejudicial. O teor de matéria orgânica pode ser avaliado pela cor da solução, quanto mais escura maior o teor em matéria orgânica. Segundo a NP EN 12620:2003 a matéria orgânica é determinada de acordo com a secção 15.1 (determinação do teor de húmos) da NP EN 1744-1:2000. Se os resultados revelarem a presença de ácido húmico, convém determinar a presença de ácido fúlvico de acordo com a secção 15.2 da NP EN 1744-1:2000. Se nestes ensaios a cor do líquido que sobrenada for mais clara que as cores *standard* pode considerar-se que os agregados não contêm matéria orgânica.

No caso de se suspeitar que a areia possa conter matéria orgânica deve-se fazer ensaios com ela como a presa e resistência, quer em betão quer em argamassa, comparando-os com resultados obtidos com agregados de reconhecido comportamento, ou com os agregados em estudo lavados e isentos de matéria orgânica (COUTINHO, 1997₁).

Quanto a impurezas constituídas por sais minerais (compostos de chumbo e zinco, óxidos de ferro, sulfatos, sulfuretos e cloretos), estes podem estar misturados com os agregados e provocar quer alterações na presa e no endurecimento, quer a deterioração do betão, não só pela sua meteorização, mas também por darem origem a reacções prejudiciais com o cimento ou com as armaduras do betão armado.

As partículas finas, ou seja, as partículas com dimensão inferior a 0,063 mm (NP EN 12620:2003), têm o inconveniente de diminuir a resistência ao desgaste, especialmente por abrasão. Também as partículas com baixa resistência e com expansões e contracções excessivas, pelas suas propriedades físicas alteram a integridade ou a resistência do betão, não só devido ao facto da sua resistência ser inferior à da argamassa, mas também à possibilidade de alterações volumétricas excessivas por embebição, secagem ou congelação da água no seu interior. A massa destas partículas não deve exceder os 2 % do agregado, pois se for em maior quantidade pode começar a afectar a tensão de rotura e a resistência à meteorização (COUTINHO, 1997₁).

Além destas propriedades dos agregados, para a determinação dos componentes, em peso por unidade de volume de betão, é necessário conhecer ainda outras propriedades: massa volúmica das partículas (areia 2,5 a 2,8 g/m³), absorção (areia 0 % a 2 %), humidade (areia 4 % a 5 %), baridade e granulometria (COUTINHO, 1997₁).

Uma vez que a granulometria é uma das propriedades mais importantes do agregado por influenciar, entre outras coisas, a compacidade do betão, e portanto todas as propriedades deste material, será dado destaque a esta propriedade.

Para se perceber a importância da granulometria dos agregados a empregar no fabrico do betão é necessário perceber como é que ela afecta a compacidade do betão, e ainda porque é que a compacidade é uma característica tão importante do betão.

A compacidade é a relação entre a densidade aparente e a densidade absoluta, ou seja, tem em consideração o volume de vazios. Quanto menor é o volume de vazios de um agregado maior é a sua compacidade, e quanto maior a compacidade maior a resistência mecânica. Assim, interessa que o volume de vazios seja o menor possível de modo a obter a compacidade necessária, mas ao menor custo possível. É para tornar o betão mais barato e reduzir a retracção da pasta de cimento que são adicionados agregados que preenchem um determinado volume (70 % a 80 %), volume esse que teria de ser preenchido com cimento, aumentando consideravelmente o seu custo e a sua retracção.

Normalmente é adicionado um ou mais tipos de agregados grossos e um agregado de granulometria fina – areia. A areia tem por objectivo preencher os espaços entre as partículas dos agregados grossos. Quanto mais heterogénea for a granulometria da areia, ou seja, quanto mais diversificado for o tamanho das partículas que constituem este agregado fino, maior será o poder de encaixe das partículas, uma vez que as partículas de menores dimensões tendem a preencher os vazios deixados pelas partículas de maiores dimensões, contribuindo assim para o aumento da compacidade.

Para se determinar se se está perante uma areia heterogénea ou homogénea, e quais as fracções granulométricas que a constituem, recorre-se à análise granulométrica da mesma. Este ensaio consiste na determinação quantitativa da distribuição das suas partículas, com base na sua dimensão, e no tratamento estatístico dessa informação (DIAS, 2004).

Para a determinação da granulometria o método mais utilizado é o de peneiração, o qual, segundo a NP EN 933-1:2000, consiste na separação, por meio de um conjunto de peneiros, de um material em diversas classes granulométricas de granulometria decrescente. Sob o ponto de vista granulométrico a dimensão de uma partícula é definida pela abertura de uma malha, com uma determinada forma, através da qual ela passa, ficando retida numa malha idêntica, de menor abertura. “A dimensão assim determinada exige que se definam dois parâmetros:

- forma de abertura da malha (quadrada, circular, etc.);
- diferença entre as aberturas de duas malhas consecutivas.

Qualquer destas condições leva à normalização da forma da abertura e da série a que devem obedecer.” (COUTINHO, 1997₁) As especificações americanas da ASTM foram as primeiras a definir a forma de abertura das malhas e a diferença entre as aberturas das séries de peneiros. Estas especificações foram tidas como referência no nosso país até à publicação das normas NP EN 933-1:2000 e NP EN 933-2:1999. A maior diferença entre as especificações ASTM e as normas europeias é a abertura das malhas dos peneiros, que no caso das especificações ASTM são definidas em número de aberturas por polegadas, o que ao converter para milímetros resulta em aberturas pouco práticas. As normas europeias ajustaram a abertura das malhas para valores mais simples em milímetros. Deste ajuste resultou que, como referido na classificação dos agregados segundo a dimensão das partículas, a distinção entre agregado grosso e areia seja diferente, no caso das especificações ASTM é 4,75 mm e no caso das normas europeias é 4 mm.

Com os resultados obtidos na análise granulométrica, ou seja, as percentagens de massa retida em cada peneiro, é possível traçar a curva granulométrica. Esta curva granulométrica permite um certo tipo de cálculo da composição do betão e é também bastante útil para apreciar rapidamente a granulometria do agregado e as deficiências que possa ter de partículas de determinada dimensão.

A análise granulométrica permite determinar também a dimensão do agregado. Nas normas NP EN 12620:2003 e NP EN 13139:2005 a dimensão do agregado é definida como a designação em

termos das aberturas inferior (d) e superior (D) dos peneiros, expressa como d/D . A NP EN 12620:2003 define a máxima dimensão do agregado (D) como a dimensão da malha do peneiro onde podem ficar retidas até 15 % das partículas, em massa. Por outras palavras, a máxima dimensão do agregado é a abertura da malha do peneiro onde se regista uma percentagem de material passado acumulado de 100 % a 85 %. Nesta norma é ainda estabelecido que o agregado deve ter D/d não inferior a 1,4. Contudo, para a areia, não é definida a mínima dimensão do agregado (d) em nenhuma norma, sendo deixado ao critério da entidade produtora a percentagem de partículas, em massa, que pode ter uma dimensão inferior a d .

Na bibliografia consultada a dimensão do agregado é definida igualmente com base na máxima e na mínima dimensão do agregado e, segundo COUTINHO (1997₁) que se baseia nas especificações ASTM, D é a máxima dimensão do agregado, correspondendo à malha do peneiro de menor dimensão pela qual passa uma percentagem igual ou superior a 90 % da massa total da amostra, e d é a mínima dimensão do agregado, correspondendo à malha do peneiro de maior dimensão pela qual passa uma percentagem inferior ou igual a 5 % da massa total da amostra. Esta designação permite que existam 10 % de partículas com dimensão superior a D , e 5 % com dimensão inferior a d .

Existe ainda uma especificação do LNEC – E 355 – 1990 – que estabelece as classes granulométricas de agregados a utilizar no fabrico de betões e argamassas, com base na percentagem, em massa, que passa através dos peneiros indicados no quadro I dessa mesma especificação. Segundo esta especificação a designação do agregado é feita mediante dois números, separados por uma barra, que indicam, o primeiro, a abertura do peneiro onde passam 90 % a 100 % da massa do agregado, e o segundo, 0 % a 15 %.

No entanto, dois agregados completamente distintos podem ter a mesma designação sem que tenham curvas granulométricas coincidentes. Isto acontece porque a dimensão do agregado corresponde apenas a valores dos extremos da curva granulométrica, não caracterizando como esta se comporta entre os dois extremos. Por isso, para completar a informação dada pela dimensão do agregado, determina-se o módulo de finura, que pode ser interpretado como a dimensão média ponderada do agregado. O módulo de finura do agregado é determinado pelo quociente por 100 da soma das percentagens acumuladas que ficam retidas em cada peneiro da série principal (excepto o peneiro n.º 200), e é proporcional à área do gráfico compreendida entre o eixo das ordenadas, a abcissa no ponto de ordenada 100 e a curva granulométrica, tendo em conta que a escala das ordenadas deve ser decimal e a das abcissas logarítmica.

Com base no módulo de finura, pelo anexo B da NP EN 12620:2003, é possível definir de maneira mais precisa a finura das areias. Para tal, recorre-se à descrição da finura das areias que pode ser: CF para areias grossas, MF para areias médias e FF para areias finas.

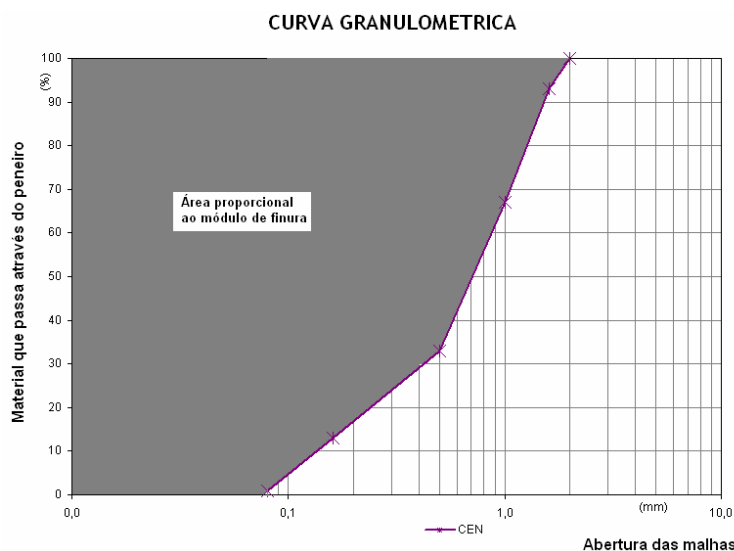


Figura 1.20 – Curva granulométrica da areia de referência CEN, com identificação da área proporcional ao módulo de finura.

Pela interpretação da curva granulométrica de um determinado agregado pode-se verificar se estamos perante um agregado mais ou menos fino: quanto mais deslocada para a esquerda estiver a curva, mais fino é o agregado. O comportamento da curva permite-nos saber se o material é poligranular (muitas partículas grossas e muitas partículas finas), no caso de ter um patamar ou um declive muito pouco acentuado nas dimensões intermédias, monogranular (muitas partículas da mesma dimensão), no caso da curva ser praticamente vertical, ou heterogéneo (partículas de várias dimensões), no caso da curva não ter nenhum patamar e ter um declive mais suave ao longo de todas as dimensões. Esta análise, com base no declive (ou declives) da curva granulométrica, é mais intuitiva se a curva estiver representada com os eixos das ordenadas e das abcissas em escala decimal.

A análise granulométrica permite também determinar a percentagem de finos, ou o teor de finos, presente, esta que, como já foi referido, segundo COUTINHO (1997₁), deve ser inferior a 2 %. A NP EN 12620:2003 estabelece apenas que o teor de finos, calculado segundo a NP EN 933-1:2000, deve ser declarado pela categoria correspondente, não definindo um valor limite.

Pela especificação americana ASTM D 2487-85, que estabelece a classificação de solos, apenas pelos resultados obtidos na análise granulométrica de um determinado solo é possível proceder à sua classificação. Basta para tal conhecer o D_{10} , D_{30} e D_{60} , que correspondem à abertura da malha por onde passam respectivamente 10 %, 30% e 60 % das partículas.

Na Figura 1.20 está representada a curva granulométrica de uma areia identificada neste trabalho como “areia CEN” (Comité Européen de Normalização). A areia de referência CEN é uma areia com uma granulometria normalizada (secção 5, NP EN 196-1:2006) usada na determinação das propriedades do cimento por ter uma granulometria que confere uma boa compactidade.

No caso das areias, as propriedades geométricas referidas na NP EN 12620:2003 dizem respeito à dimensão do agregado, à granulometria, ao teor de finos e à qualidade dos finos. Quanto aos requisitos físicos aplicáveis às areias, quando for requerido, deve-se determinar a massa volúmica e absorção de água, a baridade e a durabilidade. Quanto aos requisitos químicos a norma refere os cloretos, os compostos que contêm enxofre, outros constituintes que possam alterar o tempo de presa e resistência do betão (p.e. matéria orgânica) e o teor de carbonato das areias destinadas à camada de desgaste de pavimentos de betão. Além de mencionar as propriedades que caracterizam a areia, refere os métodos pelos quais essas mesmas propriedades devem ser determinadas. No anexo ZA são referidas as características essenciais do agregado, e outras disposições das Directivas da União Europeia, que devem ser determinadas para a sua aplicação no fabrico de betão.

A conformidade com os requisitos estabelecidos nesta norma europeia confere aos agregados uma presunção da aptidão para as utilizações previstas e indicadas na mesma, nomeadamente a aplicação no fabrico de betão, onde se incluem também os betões para a construção de estradas e outros pavimentos.

Uma vez que se está a equacionar a possibilidade de reutilização das areias removidas nas ETAR no fabrico de betão, incluindo betões para construção de estradas e outros pavimentos, faz todo o sentido equacionar igualmente a sua reutilização em argamassas.

Uma argamassa pode ser definida como uma pedra artificial obtida pela mistura de ligante com areia e água. Na verdade a argamassa é obtida pela mistura de um ou mais ligantes (cimento portland, cal aérea, cal hidráulica, gesso, etc.), areia, água e eventualmente adjuvantes. Ou seja, a única diferença entre os materiais que constituem as argamassas e o betão, é que no fabrico de betão são adicionados também agregados de maiores dimensões.

A reacção dum ligante hidráulico (p.e. cimento) com a água produz a sua hidratação formando-se uma pasta que aglomera os grãos de areia e endurece, obtendo-se uma massa homogénea. Tal como o betão, as argamassas também se apresentam em estado plástico nas primeiras horas de confecção e endurecem com o tempo, ganhando elevada resistência e durabilidade. Quanto maior a plasticidade das argamassas na hora do uso maior será a sua aderência, o que é uma grande vantagem em certas aplicações.

As argamassas podem ser usadas em edifícios, estradas e diversos trabalhos de engenharia civil, tendo várias aplicações, nomeadamente:

- argamassas para alvenaria (p.e. assentamento de tijolos, pedras, etc.);
- argamassas para revestimento (p.e. rebocos, regularização, etc.);
- argamassas para impermeabilização (p.e., reservatórios);
- argamassas para regularização (paredes, pisos e tectos);

- argamassas para fundação;
- pré-fabricação não pesada (tubos, vigotas);
- blocos de argamassa;
- injeções.

As propriedades gerais que se exigem a uma argamassa passam pela resistência mecânica, impermeabilidade, aderência, constância de volume (durante a presa e o endurecimento) e resistência química a meios agressivos. Contudo, tendo em conta a sua aplicação em casos concretos, pode haver umas propriedades mais relevantes que outras e mesmo outras propriedades específicas da sua aplicação.

Devido às propriedades que confere à argamassa, o tipo de areias utilizado e a sua composição granulométrica têm grande influência no comportamento da mesma. A escolha e a proporção das areias na mistura assumem um papel muito importante na qualidade final das argamassas (RODRIGUES, 2004).

Na NP EN 13139:2005, referente a agregados para argamassas, à semelhança da NP EN 12620:2003, são estabelecidos os requisitos geométricos, os requisitos físicos e os requisitos químicos, que os agregados devem satisfazer.

Quanto aos requisitos geométricos do agregado é necessário determinar: a dimensão do agregado, a granulometria, a forma das partículas, o teor em conchas, o teor em finos e a qualidade dos finos. A forma das partículas, no caso de agregados de dimensão inferior a 4 mm (areias e fíleres), não influi no comportamento das argamassas, pelo que não é necessária a sua determinação. O teor em conchas é um requisito que só é requerido excepcionalmente e para fracções granulométricas superiores a 4 mm. O teor em finos, determinado de acordo com a NP EN 933-1:2000, deve obedecer aos limites impostos para cada categoria. Se o teor em finos for até 3 % o agregado pode ser utilizado em todas as categorias de argamassas definidas pela norma para agregados para argamassas. A avaliação da qualidade dos finos é igual à definida na norma de agregados para betão, em que, se o teor total de finos for inferior a 3 %, os finos são considerados não prejudiciais. Ainda segundo a NP EN 13139:2005, os agregados para fabrico de argamassas devem ter preferencialmente dimensões nominais de: 0/1 mm, 0/2 mm, 0/4 mm, 0/8 mm, 2/4 mm e 2/8 mm.

Para os requisitos físicos apenas é requerida a determinação da massa volúmica das partículas, a absorção de água e a resistência do agregado ao gelo e degelo. Na determinação deste último requisito, no caso de agregados de dimensão igual ou inferior a 4 mm, o ensaio deve ser realizado com a argamassa incorporando esse agregado.

Nos requisitos químicos é necessário determinar os cloretos, os compostos de enxofre onde se incluem os sulfatos, os constituintes que alterem o tempo de presa e a resistência da argamassa, nomeadamente substâncias orgânicas, e a reactividade álcalis-silica.

Para todos os requisitos mencionados são referidas as normas e métodos pelos quais devem ser determinados. No anexo A, à semelhança do anexo B da NP EN 12620:2003, é estabelecida a descrição da finura dos agregados para argamassa com base no módulo de finura. Segundo esta descrição, dependendo do valor do módulo de finura, os agregados podem ser agregados finos de granulometria grossa (CF), média (MF) e fina (FF). No anexo ZA são referidas as características essenciais do agregado, e outras disposições das Directivas da União Europeia, que devem ser determinadas para a sua aplicação no fabrico de argamassas.

Assim, para que as areias removidas nas ETAR possam ser aplicadas no fabrico de betão e argamassas, têm de reunir os requisitos que constam nas normas NP EN 12620:2003 (agregados para betão) e NP EN 13139:2005 (agregados para argamassas), respectivamente. E, mesmo que se verifique conformidade com todos os requisitos exigidos nestas normas, devem ser feitos ensaios experimentais com a aplicação das areias removidas nas ETAR em blocos de betão e argamassas, para estudar o seu comportamento, comparando os resultados com areias aplicadas normalmente nestes usos e cujo comportamento é bem conhecido.

A reutilização de materiais no fabrico de betão e argamassas não é inédita e tende a ser cada vez maior. O uso de escórias granuladas de alto forno e de cinzas volantes no fabrico do betão é disso um bom exemplo. Em 1997 foi publicado um estudo realizado por REGAN *et al.* sobre a reutilização das areias usadas nos processos de fundição no fabrico de betão para asfalto, cimento *portland*, betão fabricado com cimento *portland* e *flowable fill* material. Foram realizadas algumas experiências e foi tido em consideração a resistência e a durabilidade dos produtos de construção onde foi aplicada a areia a reutilizar. Nesse estudo concluiu-se que as areias usadas nos processos de fundição podem ser usadas como substituto parcial das areias tradicionais no fabrico de betão para asfalto, betão fabricado com cimento *portland* e *flowable fill* material. Devido à sua origem a reutilização destas areias, ao contrário das areias removidas nas ETAR, não levanta problemas com a presença de matéria orgânica, nem questões ambientais ou de saúde pública associadas ao seu manuseamento e aplicação.

1.6.2.5. Outros Usos

As areias removidas nas ETAR podem ser aplicadas dentro das próprias instalações, ou de instalações vizinhas, pois devido ao custo de transporte pode não ser rentável aplicar em instalações que estejam mais distantes. Podem ser aplicadas por exemplo em arranjos paisagísticos ou mesmo em obras. Para tal basta que conste no caderno de encargos que o material a aplicar são as areias removidas e as suas características, especificando os usos em que devem ser empregues. Contudo, à semelhança de todos os usos anteriormente equacionados, deve ser assegurado que o seu manuseamento e aplicação não constituem qualquer risco para a saúde pública e para o ambiente.

1.7. MANUSEAMENTO DAS AREIAS E DESINFECÇÃO COM HIPOCLORITO DE SÓDIO

1.7.1. Manuseamento das Areias Removidas nas ETAR

Independentemente de as areias removidas nas ETAR poderem ou não ser reutilizadas é necessário assegurar que o seu manuseamento é seguro. Mesmo que não seja possível a sua reutilização, as areias têm de ser removidas da ETAR, transportadas e depositadas em aterro sanitário, o que implica o seu manuseamento e a exposição do(s) operador(es) a possíveis riscos.

No caso das areias terem como destino final a deposição em aterro sanitário, as operações envolvidas exigem uma curta exposição do(s) operador(es) e um grupo restrito de pessoas expostas. Pessoas essas que, sendo técnicos das ETAR e dos aterros sanitários, são conhecedoras das medidas correctas para o seu manuseamento e estão protegidas dos possíveis riscos pelo uso dos equipamentos de protecção individual (EPI).

Tendo em conta que estas areias são removidas da água residual bruta, e que por conseguinte estiveram em contacto com ela e com os seus constituintes, a maior preocupação que advém do seu manuseamento é a presença de microrganismos patogénicos. A presença desses microrganismos leva a que tenham de ser tomadas precauções de modo a não por em risco a saúde pública ou o ambiente.

Actualmente, como o único destino é a deposição em aterro sanitário, o manuseamento destas areias por ser feita por operadores especializados e com EPI, apresenta um risco controlado e minimizado. Contudo, ao equacionar a possibilidade de reutilização destas areias é necessário assegurar que a exposição ao público em geral, não constitui um factor de risco. Só assegurando que não existe qualquer risco para a saúde e para o ambiente que advenha da reutilização das areias removidas nas ETAR, é que estas poderão entrar no mercado e ser aceites pelo consumidor.

No caso da aplicação das areias nas várias camadas do aterro sanitário (impermeabilização basal, cobertura diária dos resíduos ou selagem do aterro) implica apenas a exposição dos trabalhadores, estes que como referido anteriormente estão protegidos pelos EPI. O mesmo não acontece se estas areias forem aplicadas na construção das várias camadas dos aterros e da pavimentação em construção de estradas, ou almofadas de assentamento. Nestes casos o número de pessoas expostas é muito maior, a exposição não é só dos trabalhadores mas também do público em geral, principalmente quando as obras decorrem em zonas urbanas. Além disso, as areias quando reutilizadas dentro do aterro sanitário ficam confinadas num espaço que está impermeabilizado, minimizando a probabilidade de provocarem poluição dos solos ou de lençóis freáticos, o que não acontece na construção de estradas e nas almofadas de assentamento.

Dada a sua proveniência é espectável que estas areias apresentem valores elevados de matéria orgânica e de coliformes totais e fecais. O teor em matéria orgânica nas areias deve ser o mínimo possível. O classificador, embora tenha por objectivo remover a matéria orgânica que está agarrada à superfície das partículas das areias, permite que as areias sejam removidas ainda com alguma matéria orgânica, a qual, ao entrar em putrefacção, é causadora de odores desagradáveis além de propiciar o desenvolvimento de organismos indesejados. Dada a importância deste parâmetro, até para a deposição dos resíduos em aterro, são estabelecidos, no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, valores limite para a humidade (“perda a 105°C”) e para o teor de matéria orgânica (“perda a 500°C-perda a 105°C”), ambos expressos em percentagem.

Para se avaliar a qualidade microbiológica, ou sanitária, das areias são determinados os coliformes totais e os coliformes fecais. Os coliformes totais é um grupo de bactérias de vários tipos, entre as quais se encontram bactérias de origem fecal, presentes nas fezes dos animais de sangue quente, e bactérias que se encontram na água, no solo e na vegetação. O grupo dos coliformes fecais é um subgrupo dos coliformes totais, a onde pertencem os microrganismos que aparecem exclusivamente no trato intestinal.

Na maior parte das vezes as bactérias coliformes por si só não constituem nenhum risco para a saúde uma vez que são inofensivas. O seu uso como indicador da qualidade sanitária prende-se com o facto de a sua presença indicar que podem estar presentes microrganismos patogénicos de origem fecal, esses sim, podem causar doenças graves e constituem um perigo para a saúde pública.

Como é dispendioso, complexo e demorado testar em laboratório os microrganismos patogénicos, normalmente opta-se por, determinar a presença dos coliformes totais e dos coliformes fecais, uma vez que a sua identificação é mais simples e económica e a sua resistência às condições ambientais é muito semelhante à dos microrganismos patogénicos.

No caso de serem identificadas substâncias e/ou microrganismos que possam por em risco a saúde pública e/ou causar danos no ambiente, há que sujeitar as areias a um tratamento adequado que promova a eliminação ou a redução dessas substâncias e/ou microrganismos até níveis que permitam a sua classificação como “não perigosas”.

A pesquisa bibliográfica sobre a qualidade sanitária exigida às areias para as aplicações equacionadas revelou-se infrutífera, não tendo sido encontrado qualquer resultado. Actualmente, as preocupações com a qualidade microbiológica das areias cingem-se apenas à qualidade das areias balneares por estas estarem em contacto directo com a população em geral e com grupos de risco em particular, nomeadamente crianças e idosos. No relatório de 2007 sobre a monitorização da qualidade das areias em zonas balneares, elaborado com a participação do Instituto do Ambiente, Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge e a Associação Bandeira Azul da Europa, são referidos os parâmetros microbiológicos (micológicos e bacteriológicos) a pesquisar, os valores máximos

admissíveis (VMA) e recomendados (VMR), e ainda os novos valores máximos recomendados (NVMR) que resultaram do estudo a que se refere o relatório (Quadro 1.22 e Quadro 1.23).

O manuseamento das areias nos diferentes usos descritos no ponto 1.6.2 não exige um contacto tão directo como as areias balneares. Mas, à falta de legislação e bibliografia que se possa adaptar à qualidade microbiológica das areias aplicadas nesses mesmos usos, os parâmetros microbiológicos e os VMA, VMR e NVMR, que constam no referido relatório, são mencionados nos quadros seguintes, servindo apenas de referência, uma vez que se admite que a qualidade exigida a uma areia banear será seguramente muito superior à exigida a uma areia de uso tradicional.

Quadro 1.22 – Parâmetros microbiológicos para areias balneares (BRANDÃO *et al.*, 2007).

Micologia			Bacteriologia
Fungos leveduriformes	Fungos filamentosos potencialmente patogénicos e/ou alergogénicos	Dermatófitos	
<i>Candida albicans</i> <i>Candida sp</i> (outras) <i>Cryptococcus neoformans</i> Outras leveduras	<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus níger</i> <i>Aspergillus sp</i> (outros) <i>Chrysosporium sp</i> <i>Fusarium sp</i> <i>Scytalidium sp</i> <i>Scedosporium</i> <i>Spscopulariopsis sp</i> Outros	<i>Trichophyton sp</i> <i>Microsporum sp</i> <i>Epidermophyton sp</i>	Bactérias coliformes <i>Escherichia coli</i> Enterococos intestinais

Quadro 1.23– Valores máximos recomendados, novos valores máximos recomendados e valores máximos admissíveis para areias balneares (BRANDÃO *et al.*, 2007).

Parâmetros	VMR (NMP/g)	NVMR (NMP/g)	VMA (NMP/g)
Leveduras	30	3	60
Fungos potencialmente patogénicos	70	5	85
Dermatófitos	1	1	15
Coliformes totais	5	5	100
<i>Escherichia coli</i>	1	1	20
Enterococos intestinais	1	1	20

Segundo um estudo da Organização Mundial de Saúde, WHO (2003), que fala sobre a qualidade das areias balneares, conclui-se que estas areias têm bactérias e microrganismos patogénicos, mas, apesar disso, a sua capacidade de infectar as pessoas continua por demonstrar, e os riscos para a saúde pública são ainda desconhecidos. Assim, segundo esta entidade, não há evidências que permitam estabelecer valores de referência ou limite para organismos ou microrganismos patogénicos. Além disso, o uso de desinfetantes, embora frequente, ainda não está suficientemente estudado. A única constatação é que, uma vez que o crescimento dos microrganismos é limitado pela quantidade de nutrientes presentes, o teor em matéria orgânica deve ser mínimo.

1.7.2. Desinfecção com Hipoclorito

Para que as areias removidas nas ETAR possam ser consideradas um produto, independentemente da legislação que venha a ser aprovada, um dos requisitos será obrigatoriamente, como já referido anteriormente, não constituir um risco para a saúde pública e para o ambiente.

No âmbito desta dissertação foi equacionada a desinfecção destas areias de modo a estudar a viabilidade de reduzir ou eliminar os microrganismos patogénicos que possam estar presentes.

A operação de desinfecção é um processo complexo cujo objectivo é a destruição de microrganismos patogénicos. Este processo depende de vários factores, nomeadamente:

- das características físico-químicas do desinfectante;
- da natureza cito-química e do estado físico dos patogénicos;
- da interacção entre os dois primeiros aspectos referidos; e,
- dos efeitos quantitativos ou factores intervenientes no meio (p.e., temperatura, pH, presença de substâncias interferentes).

Segundo ALVES (2005), a desinfecção é realizada recorrendo a agentes físicos ou a agentes químicos. A desinfecção por agentes físicos pode ser realizada recorrendo por exemplo ao calor, à luz solar, à radiação ultravioleta, a radiações ionizantes ou a ultra-sons. Quanto à desinfecção por agentes químicos pode ser realizada recorrendo a oxidantes (cloro, bromo, iodo, ozono, permanganato de potássio), iões metálicos, ácidos e bases e detergentes.

Um desinfectante ou processo de desinfecção deve idealmente apresentar as seguintes características:

- ser tóxico, a baixas concentrações, para os microrganismos;
- não ser tóxico para os seres humanos, animais e ambiente em geral;
- ser solúvel em água;
- ser eficaz às temperaturas normais onde é aplicado;
- ser estável, permitindo a manutenção de concentrações residuais durante longos períodos de tempo;
- não reagir com outra matéria orgânica que não seja a dos microrganismos;
- não ser agressivo a metais ou vestuário;
- existir em grandes quantidades a um preço acessível;
- ser fácil de manusear;
- permitir um controlo fácil das suas aplicações.

A eliminação de microrganismos por um desinfectante é descrita pela lei empírica de Chick, de acordo com a qual a taxa de destruição é proporcional ao número de microrganismos presentes, segundo uma relação química de primeira ordem,

$$N_t = N_0 e^{-Kt} \quad \text{Equação 1.1}$$

onde, N_0 é o número de microrganismos no início da desinfecção, N_t é o número de microrganismos ao fim do tempo t , t é o tempo de contacto e K , em s^{-1} , é a constante da reacção.

De acordo com esta lei, para uma mesma concentração de desinfectante, quanto maior o tempo de contacto maior a destruição de microrganismos. Contudo nem só o tempo de contacto afecta a eficiência da desinfecção, por exemplo, a concentração de desinfectante e a temperatura também afectam a velocidade com que ocorrem as reacções e a sua eficiência (ALVES, 2005).

O desinfectante mais utilizado no mundo é o cloro, uma vez que este satisfaz a maioria das características requeridas a um desinfectante considerado ideal. Os principais compostos de cloro usados são: cloro gasoso (Cl_2), hipoclorito de sódio ($NaOCl$), hipoclorito de cálcio ($Ca(OCl)_2$) e dióxido de cloro (ClO_2) (METCALF & EDDY, 2003).

O cloro é um oxidante poderoso (oxida enzimas das células microbianas que são essenciais para as actividades metabólicas), sendo eficiente a concentrações baixas, barato, e, se aplicado em quantidade suficiente, forma um residual. O seu efeito depende da concentração utilizada, do tempo de contacto, das condições de mistura, da temperatura e do pH. Contudo, o cloro é também uma substância altamente tóxica o que dificulta o seu transporte, armazenamento e manuseamento. Além disso, o cloro residual é tóxico para a vida aquática e ao reagir com a matéria orgânica forma subprodutos, dos quais muitos são potencialmente cancerígenos e/ou mutagénicos. Os subprodutos gerados, entre eles os trihalometanos (THM), e os perigos relacionados com a sua utilização, principalmente quando aplicado na forma gasosa, têm sido argumentos de peso para a substituição do cloro por outros desinfectantes, nomeadamente a radiação ultravioleta.

O hipoclorito de sódio por ser um reagente acessível (disponibilidade e custo), eficaz na operação de desinfecção e cujo armazenamento e manuseamento é mais fácil e seguro do que o cloro, leva a que muitas vezes seja usado em detrimento deste último.

O uso de hipoclorito de sódio na desinfecção permite que muitas das preocupações com a segurança do transporte, armazenamento e manuseamento do cloro sejam eliminadas. Este reagente traz ainda vantagens a nível de segurança e facilidade de manuseamento e causa menos problemas nos equipamentos de bombagem e medição. Contudo é uma solução instável, corrosiva e mais cara comparativamente ao cloro gasoso e ao hipoclorito de cálcio. O espaço necessário ao armazenamento do hipoclorito de sódio e o custo com os seu transporte é mais elevado do que o

hipoclorito de cálcio uma vez que, por se apresentar em forma de líquido enquanto o $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ se apresenta em forma de sólido (granular), ocupa um volume maior.

Segundo WHITE (1992), a maior desvantagem do uso deste desinfectante é que a solução de hipoclorito de sódio degrada-se muito rapidamente, perdendo uma percentagem significativa do seu cloro activo em poucos dias. A estabilidade desta solução é afectada pelo calor, luz, pH e presença de cátions de metais pesados. A velocidade a que se dá a degradação da solução depende de:

- quanto mais elevada for a concentração mais rápida a velocidade de degradação;
- quanto mais elevada for a temperatura mais rápida a velocidade de degradação; e,
- a presença de ferro, cobre, níquel e cobalto cataliza a velocidade de degradação.

O facto de a solução de hipoclorito de sódio apresentar um pH aproximadamente de 12, confere-lhe propriedades corrosivas (ALVES, 2005) o que, associado à libertação de gases contendo cloro, requer atenção no seu armazenamento e manuseamento (METCALF & EDDY, 2003). A corrosão desta solução é de longe mais devastadora que a causada por qualquer solução aquosa de cloro feita com cloro gasoso (WHITE, 1992).

A preparação do hipoclorito de sódio é um processo relativamente simples, envolvendo a reacção do cloro com a soda cáustica, segundo a reacção (WHITE, 1992):



Esta solução é normalmente comercializada com cerca de 12 % a 15 % de cloro activo, segundo METCALF & EDDY (2003) e SPELLMAN (1999), mas, segundo WHITE (1992) pode ser comercializado com cerca de 5 % a 15 % de cloro activo.

A desinfecção das areias com hipoclorito de sódio tem como objectivo principal a eliminação de microrganismos patogénicos e, adicionalmente, a redução do teor de matéria orgânica. A redução da matéria orgânica, além de diminuir possíveis riscos que lhe estão associados, permitirá controlar a formação de odores indesejáveis devidos à sua decomposição.

A maior preocupação que decorre da desinfecção das areias com hipoclorito de sódio é a possibilidade de se formarem subprodutos indesejados (p.e. THM) devido à presença de matéria orgânica. As substâncias orgânicas reagem com compostos de cloro originando reacções de adição, substituição e oxidação, ocorrendo a formação de subprodutos e diminuição da eficiência de desinfecção devido ao consumo do cloro activo (CARVALHO, 1999).

Os THM são os subprodutos mais frequentes e em maior concentração que resultam da reacção com cloro (METCALF & EDDY, 2006). Além dos THM são formados outros compostos halogenados incluindo: acetonitrilos halogenados, cetonas halogenadas, cloropicrinas, cloreto de cianogénio e hidrato de cal. A maior parte destes compostos têm efeitos adversos para a saúde pública, estando

muitas formas halogéneas classificadas como cancerígenas para os animais, das quais algumas são classificadas como provavelmente cancerígenas para o Homem (METCALF & EDDY, 2006).

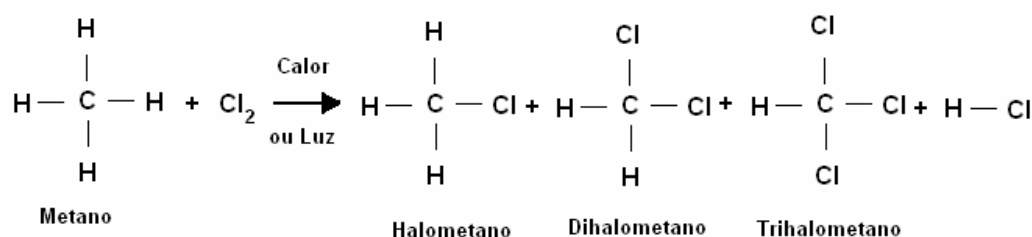


Figura 1.21– Formação de uma molécula de trihalometano por reacção de substituição de um alcano com cloro (SOLOMONS e FRYHLE, 2000).

Uma vez que, segundo CARVALHO (1999) que cita RECKHOW *et al.*, 1990, a formação de subprodutos é directamente proporcional à concentração de matéria orgânica e, na desinfecção com cloro, os subprodutos mais abundantes são os halogenados, dois dos parâmetros a analisar nas areias, após a sua desinfecção com hipoclorito de sódio, são o carbono orgânico total (COT) e os compostos orgânicos halogenados adsorvidos (AOX). A determinação do COT permitirá avaliar a presença de matéria orgânica e a dos AOX os compostos orgânicos halogenados adsorvidos.

A determinação dos AOX, onde o X substitui o elemento cloro, bromo e/ou iodo, é reconhecida como a técnica mais adequada porque permite a determinação dos compostos no seu todo de forma simples. É por isso um parâmetro global uma vez que abrange todos os compostos orgânicos halogenados, voláteis e não voláteis, polares e não polares, e permite prever de forma rápida a formação de subprodutos orgânicos halogenados resultantes da desinfecção, sem contudo os diferenciar (CARVALHO, 1999). Os valores de AOX, segundo CARVALHO (1999) que cita ONDERA *et al.* (1987), geralmente aumentam com o aumento da concentração e do tempo de contacto com o cloro.

Pretende-se com a desinfecção das areias remover as substâncias e os microrganismos que possam constituir perigo para a saúde pública e para o ambiente e ao mesmo tempo evitar, ou minimizar, a formação de subprodutos que possam igualmente constituir um risco.

2. OBJECTIVOS

O presente trabalho tem como objectivo principal estudar, numa abordagem inovadora, a possibilidade de reutilização das areias removidas nas ETAR.

Para o desenvolvimento da presente dissertação foram definidos os seguintes objectivos:

- i. Analisar, a nível nacional, a produção e o destino final dado às areias removidas das águas residuais nas ETAR;
- ii. Caracterizar granulometricamente as areias de uma ETAR seleccionada como caso de estudo;
- iii. Determinar o coeficiente de permeabilidade das areias da referida ETAR;
- iv. Identificar os usos potenciais para a sua reutilização;
- v. Identificar os perigos potenciais a nível de saúde pública e ambiente relacionados com o manuseamento e utilização das areias provenientes de ETAR;
- vi. Estudar a possibilidade de diminuição desses perigos potenciais por inactivação microbiológica através do uso de desinfectante como o hipoclorito de sódio, testando diferentes doses e diferentes tempos de contacto.

3. PLANO EXPERIMENTAL

Para a prossecução dos objectivos do trabalho, adoptou-se o Plano Experimental a seguir indicado.

Quadro 3.1 – Plano Experimental.

Fase		Objectivo
A	A1	Estudo da influência de diferentes concentrações de hipoclorito de sódio.
	A2	Estudo da influência de diferentes tempos de contacto com hipoclorito de sódio.
B		Determinação da granulometria das areias em estudo.
C		Determinação do coeficiente de permeabilidade das areias em estudo.

A Fase A corresponde aos ensaios com hipoclorito de sódio (NaOCl) para avaliar a sua acção em termos de inactivação microbiológica. No Quadro 3.2 é referida a concentração de NaOCl e o tempo de contacto a que as areias foram sujeitas em cada ensaio.

Quadro 3.2 – Concentração de hipoclorito de sódio e tempo de contacto para cada ensaio da Fase A do Plano Experimental.

Ensaio	Concentração (mg NaOCl/L)	Tempo de Contacto (horas)
I	10	0,5
II	20	0,5
III	10	2
IV	20	2

O objectivo da Fase A1 é observar, para o mesmo tempo de contacto, a influência de diferentes doses de hipoclorito. Neste caso os resultados dos ensaios serão comparados da seguinte forma: Ensaio I vs Ensaio II e Ensaio III vs Ensaio IV.

O objectivo da Fase A2 é observar, para a mesma concentração de hipoclorito de sódio, a influência de diferentes tempos de contacto. Neste caso os resultados serão comparados da seguinte forma: Ensaio I vs Ensaio III e Ensaio II vs Ensaio IV.

A Fase B pretende determinar a curva granulométrica das areias, recorrendo à análise granulométrica das mesmas pelo método de peneiração a seco.

A Fase C tem como objectivo a determinação do coeficiente de permeabilidade das areias recorrendo a um método semi-empírico (fórmula de Hazen), baseado no diâmetro efectivo das partículas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para persecução dos objectivos deste trabalho foi escolhida a ETAR de Sesimbra como caso de estudo. A localização da ETAR, o seu funcionamento, a operação de desarenação e as características dos equipamentos, nomeadamente do desarenador e do classificador de areias, são algumas das características que é necessário conhecer para compreender e fazer uma correcta análise dos resultados. Deste modo, no ponto seguinte, é feita a caracterização da ETAR de Sesimbra, desde a sua localização, descrição geral da linha de tratamento e descrição da operação de desarenação e dos respectivos equipamentos.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ETAR DE SESIMBRA

4.1.1. Localização da ETAR e Requisitos do Efluente Final

A ETAR de Sesimbra localiza-se junto ao Porto de Abrigo, na Freguesia de Sesimbra, Concelho de Sesimbra, Distrito de Setúbal.



Figura 4.1– Localização da ETAR de Sesimbra (Google Earth, 2007).

A sua proximidade a zonas de lazer e recreio, como o Porto de Abrigo, o Clube Naval e a Praia de Sesimbra, e a zonas protegidas, como o Parque Natural da Arrábida e o Parque Marinho Professor Luiz Saldanha, exige uma especial atenção ao bom funcionamento da ETAR e à qualidade do seu efluente final.

As águas recolhidas no Subsistema de Sesimbra, que integra um conjunto de receptores e emissários, dois sistemas elevatórios e a ETAR, são conduzidas a esta última através de uma rede de drenagem na sua maioria unitária.

Segundo o Estudo Prévio, na área servida por este Subsistema, não existem unidades industriais e as águas residuais resultantes das zonas industriais (Doca Pesca e Porto de Pesca), são equiparáveis a águas residuais domésticas.

O meio receptor do efluente tratado da ETAR de Sesimbra é o oceano Atlântico, zona classificada pelo Decreto-Lei n.º 149/2004, de 22 de Junho, como “zona menos sensível”.

Tendo em consideração a legislação aplicável, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, com as respectivas alterações, e o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, e os usos tradicionais e vocacionais das águas receptoras, o efluente tratado além de ter de respeitar os valores limite que constam na Licença de Descarga (Anexo II), é sujeito a desinfecção de modo a assegurar uma boa qualidade microbiológica.

No Quadro 4.1 são apresentados os valores limite definidos pela Licença de Descarga da ETAR de Sesimbra e a qualidade microbiológica que o efluente final deve respeitar.

Quadro 4.1 – Parâmetros e valores limite a respeitar pelo efluente final da ETAR de Sesimbra (Licença de Descarga e SIMARSUL, S. A., 2004).

Parâmetro	Unidades	Valor Limite
Caudal	m ³ /dia	4435
pH	-	6-9
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅)	mg/L	25
Carência Química de Oxigénio (CQO)	mg/L	125
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	35
Coliformes Fecais	NMP/100mL	2000

Para avaliar se o efluente final cumpre o quadro de qualidade exigido são efectuadas análises periódicas. No Quadro 4.2 são apresentados os resultados das análises efectuadas ao efluente final da ETAR de Sesimbra durante os dois primeiros trimestres de 2007.

Quadro 4.2– Resultados das análises do efluente final durante os dois primeiros trimestres de 2007.

Parâmetros			pH	SST (mg/L)	CBO ₅ (mg O ₂ /L)	CQO (mg O ₂ /L)
Licença de Descarga			6 a 9	35	25	125
1º Trimestre	Janeiro	05-01-2007	7,6	-	-	28
		18-01-2007	7,4	8	9	34
	Fevereiro	08-02-2007	7,1	-	-	24
		22-02-2007	8,2	5	9	53
	Março	08-03-2007	7,4	5	28	50
		22-03-2007	7,4	-	-	52
2º Trimestre	Abril	05-04-2007	7,1	5	5	34
		19-04-2007	7,4	-	-	53
	Maio	04-05-2007	6,8	5	6	95
		17-05-2007	6,9	-	-	34
	Junho	08-06-2007	7,4	-	-	34
		21-06-2007	7,4	5	3	18

Todos os valores das análises, com excepção do valor da CBO₅ no mês de Março, cumprem os valores limite impostos pela Licença de Descarga.

Tendo em consideração o quadro n.º 3 do anexo I do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, e um número de 12 amostras anuais para a CBO₅, o efluente é considerado conforme se o número de amostras não conforme for, no máximo, de 2. Como apenas uma amostra apresenta um valor superior ao valor limite de descarga, conclui-se que o efluente final da ETAR de Sesimbra é conforme, ou seja, cumpre o quadro de qualidade exigido pela Licença de Descarga.

4.1.2. Dados Base

A ETAR de Sesimbra foi dimensionada para um horizonte de projecto (HP) de 15 anos. No seu dimensionamento foram consideradas as condições de afluência quantitativas e qualitativas que constam no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Condições de Afluência no ano 0 e no ano HP (SIMARSUL, S. A., 2001₁).

Condições de Afluência	Ano 0	Ano HP
População Atendida (hab.)	18.000	30.000
Caudal de Dimensionamento Processual (m ³ /dia)	2.270	6.000
Caudal de Dimensionamento de Ponta (m ³ /h)	432	864
CBO ₅ (mg O ₂ /L)	357	270
SST (mg/L)	596	450
Óleos e Gorduras (mg/L)	66	50

Durante o ano de 2006 foi tratado um caudal médio de 2992 m³/dia, cerca de metade do caudal médio diário previsto para o ano horizonte de projecto (ano 15).

4.1.3. Etapas do Tratamento

A linha de tratamento da ETAR de Sesimbra foi dimensionada e projectada de forma a assegurar um efluente final com uma qualidade elevada, respeitador dos limites exigidos, e tendo em consideração a sua localização e os seus possíveis impactes.

A linha de tratamento divide-se em três fases: fase líquida, fase sólida e tratamento de odores (desodorização). É feita de seguida uma breve descrição de cada uma destas fases tendo por base os documentos relativos à ETAR de Sesimbra fornecidos pela SIMARSUL, S.A., nomeadamente: o Manual de Instruções de Funcionamento da ETAR, a Memória Descritiva e Justificativa da Empreitada de Concepção/Construção da Reformulação e Beneficiação da ETAR e a Descrição do Processo de Funcionamento da ETAR.

4.1.3.1. Fase Líquida

O efluente bruto aflui em pressão à ETAR através de um colector de DN 500, passando por um medidor de caudal electromagnético antes da obra de entrada.

O efluente chega à obra de entrada e é dividido pelo número de canais em funcionamento, no máximo três. No fim de cada canal existe um tamisador, dois do tipo Aqua-Guard® e um do tipo Step Screen®.

Os tamisadores, que funcionam como uma gradagem fina, removem do efluente os sólidos mais grosseiros com o objectivo de proteger os órgãos e os equipamentos a jusante da obra de entrada. Os sólidos removidos são compactados de modo a reduzir o seu volume e humidade, transportados para um contentor e, posteriormente, conduzidos a destino final – aterro sanitário.

Devido à acumulação de areias nos canais da obra de entrada foram instaladas cinco tubagens, cada uma com uma válvula de cunha elástica associada, que permitem conduzir as areias directamente da obra de entrada ao classificador de areias.

Na obra de entrada localiza-se ainda o by-pass geral à ETAR que, no caso desta estar fora de serviço, encaminha directamente o efluente bruto para o meio receptor.

Após a tamisação o efluente é encaminhado para um órgão compacto de concepção e patente Degrémont – o Sedipac 3D® – onde têm lugar as operações de desarenação, desengorduramento e decantação primária.

O efluente tamisado ao entrar no Sedipac 3D[®] é forçado a um fluxo descendente no sentido das fossas de extracção de areias, o que leva à acumulação das areias no fundo das mesmas. As areias são removidas do Sedipac 3D[®], encaminhadas para o classificador de areias e depositadas num contentor, sendo posteriormente removidas para aterro sanitário.

Depois de sujeito a desarenação o efluente atravessa as cubas de desengorduramento em fluxo ascendente. Cada uma das cubas está equipada com um arejador mecânico submersível de bolha fina. A conjugação das duas correntes ascendentes (ar e água) permite o aprisionamento das gorduras pelas bolhas de ar, favorecendo a flotação. Uma vez chegadas à superfície, as gorduras flotadas são conduzidas pela corrente criada a uma caleira de recolha, a qual as encaminha para um poço de bombagem. Posteriormente são encaminhadas para um concentrador de gorduras, sendo depositadas num contentor e encaminhadas para uma empresa responsável pelo seu tratamento e destino final adequados.

O efluente após passar pelas fossas de areias no sentido descendente e pelas cubas de desengorduramento no sentido ascendente, passa para uma zona onde se dá a separação das matérias em suspensão. Esta zona de decantação propriamente dita, está equipada com uma ponte raspadora de fundo e lamelas junto à superfície.

Após sedimentação das matérias sólidas, estas são encaminhadas por intermédio da ponte raspadora de fundo para uma fossa central, a partir da qual são extraídas pelas bombas de extracção de lamas para o espessador gravítico.

Tendo em conta o caudal afluente para o ano horizonte de projecto foram instalados dois Sedipac 3D[®] que funcionam em paralelo.

Após o tratamento primário o efluente transita graviticamente para as caixas de admissão aos biofiltros onde tem lugar o tratamento biológico. A entrada através de descarregadores individuais está protegida com tamisadores do tipo Aqua-Guard[®], localizados à saída dos Sedipac 3D[®], para evitar que objectos sólidos possam entupir o sistema de distribuição do efluente nos biofiltros.

Os biofiltros desta ETAR, de patente Degremont – Biofor[®], são constituídos por um sistema de bactérias fixas sobre uma monocamada de material granular, em leito fixo imerso, com fluxos de ar e de água em co-corrente. Este processo permite realizar simultaneamente a absorção e transformação biológica da poluição dissolvida e coloidal pela massa activa fixa, e reter as matérias em suspensão por filtração.

O tratamento biológico do efluente é assegurado em duas etapas, a primeira preconizada por quatro Biofors C[®], e a segunda por dois Biofors C+N[®].

O efluente passa primeiro pelos Biofor C[®] que asseguram um primeiro grande desbaste na poluição carbonácea biodegradável dissolvida e na matéria particulada. A eliminação da poluição carbonácea resulta da conjugação dos fenómenos de adsorção, de hidrólise e de metabolização do biofilme no reactor. Esse biofilme é formado por um ecossistema, constituído essencialmente por bactérias heterotróficas e por protozoários.

Depois dos Biofors C[®] o efluente é elevado por meio de dois parafusos de Arquimedes e sujeito a uma segunda etapa nos Biofors C+N[®]. Estes últimos asseguram o complemento da remoção da poluição carbonácea biodegradável dissolvida e da matéria particulada e, complementarmente, a nitrificação de parte do azoto amoniacal. A ocorrência de nitrificação é inevitável uma vez que já existe pouco carbono orgânico à entrada dos Biofors C+N[®]. Além disso, os nitratos produzidos são menos poluentes do que o azoto amoniacal.

O efluente proveniente dos Biofors C+N[®] é conduzido a uma cisterna de água de lavagem. O volume de água armazenado nesta cisterna é usado na lavagem dos Biofors[®], dos seus difusores de ar e como recirculação de emergência, caso não haja efluente suficiente para manter o leito dos Biofors[®] humedecido.

A água resultante da lavagem dos Biofors[®], que contém as lamas removidas, é encaminhada para uma cisterna de água suja, sendo posteriormente elevada para o canal de entrada nos Sedipac 3 D[®], onde é misturada com o efluente tamisado.

Após o tratamento biológico o efluente é ainda sujeito a uma desinfecção por raios ultravioletas (UV). Os módulos de produção de UV estão instalados na vertical, num canal em betão, imediatamente antes das obras finais. São constituídos de uma estrutura rígida em aço inox suportando 5 fiadas de 8 lâmpadas cada. Estas estão protegidas contra as agressões do meio por intermédio de tubos de quartzo, e são imersas no efluente a desinfectar.

À saída do canal de desinfecção o efluente tratado atravessa uma cisterna de armazenamento com um volume de 40 m³. Esta cisterna constitui uma reserva de água desinfectada que pode ser utilizada como água de serviço para fins menos nobres como: irrigação de espaços verdes, lavagem das redes viárias e das viaturas na ETAR, ou para qualquer outro fim que não exija a utilização de água potável.

O efluente, antes de ser descarregado no meio receptor, dá entrada num canal no qual está instalado um descarregador tipo "Parshall", onde é feita nova medição do caudal.

4.1.3.2. Fase Sólida

A fase sólida resulta da necessidade de tratar os subprodutos resultantes do tratamento do efluente, produzidos ao longo da fase líquida, à medida que vão sendo removidos.

Actualmente, os subprodutos gerados no tratamento preliminar, constituídos pelos gradados, as areias e as gorduras, depois de terem sofrido uma redução de volume e da quantidade de água, são depositados em contentores. Posteriormente, os gradados e as areias são encaminhados para deposição em aterro sanitário e as gorduras são encaminhadas para uma empresa responsável pelo seu tratamento e destino final.

O facto de, na ETAR de Sesimbra, o tratamento biológico se realizar por biofiltros, e a água de lavagem dos mesmos, que removem as lamas, retornarem ao Sedipac 3D[®], leva a que se gerem lamas mistas na zona de decantação, sendo removidas do órgão por bombagem e encaminhadas para o espessador gravítico.

No espessador gravítico dá-se a concentração das lamas, apresentando um rendimento de captação de SST de 95 %. Os sobrenadantes são recolhidos na caleira do espessador e encaminhados para o poço de escorrências, retornando à obra de entrada, a montante da tamisação.

As lamas espessadas, depositadas no fundo do espessador, são bombeadas para o digestor anaeróbio onde sofrem um processo natural de estabilização ao longo de aproximadamente 18 dias, a uma temperatura constante de 35 °C. Para assegurar esta temperatura, as lamas são recirculadas e aquecidas em central, que utiliza a queima do gás gerado no próprio processo de digestão das lamas (biogás). Quando a quantidade de biogás formado é superior à necessária para o aquecimento das lamas, o excesso de biogás é queimado na tocha de queima.

Recentemente foi instalado um sistema de co-geração, que permitirá a produção de energia térmica e de energia eléctrica a partir do biogás gerado no processo de digestão anaeróbia.

Os sobrenadantes do digestor são encaminhados para o poço de escorrências, retornando à obra de entrada, a montante da tamisação.

Depois de estabilizadas, as lamas digeridas são desidratadas por centrifugação e armazenadas em dois silos de armazenamento de lamas desidratadas. Estas lamas, com uma sicidade de cerca de 25 %, são posteriormente encaminhadas para destino final, o qual, até agora, tem sido a valorização agrícola.

As escorrências resultantes da desidratação, à semelhança dos sobrenadantes do espessador gravítico e do digestor anaeróbio, são encaminhadas para o poço de escorrências, retornando à obra de entrada, a montante da tamisação.

4.1.3.3. Tratamento de Odores – Desodorização

Devido à natureza dos produtos tratados uma ETAR é, naturalmente, uma fonte de odores. Estes odores, na sua maioria bastante desagradáveis, têm as suas origens nos gases ou vapores emanados por certos produtos contidos nas águas residuais, ou provenientes das transformações efectuadas no decurso do tratamento.

A ETAR de Sesimbra é especialmente sensível à questão da propagação dos odores devido à sua localização. Para evitar a propagação desses odores está equipada com dois sistemas de desodorização: biodesodorização e desodorização por lavagem química.

O ar aspirado da obra de entrada, do Sedipac 3D[®], dos contentores de armazenamento de gradados, areias e gorduras, do espessador, da centrífuga e dos silos de armazenamento de lamas desidratadas, é encaminhado preferencialmente para a biodesodorização.

A biodesodorização consiste em fazer atravessar os gases através de um leito de turfa, que serve de meio de suporte ao desenvolvimento de microrganismos, os quais removem os agentes causadores dos odores.

Em caso de maior afluência de caudal, ou em alturas do ano em que poderá haver maior tendência para a propagação de maus cheiros (temperaturas mais elevadas), ou mesmo em caso de ser necessário por algum motivo interromper a biodesodorização, a desodorização é assegurada por lavagem química. Este processo consiste primeiramente numa “lavagem ácida”, com ácido sulfúrico, seguida de uma “lavagem oxidante em meio alcalino”, com hipoclorito de sódio e soda cáustica.

4.1.4. Operação de Desarenação e Classificação das Areias

A operação de desarenação e a classificação das areias assume, no âmbito desta dissertação, um papel muito importante. É a eficiência destes dois processos que condiciona as características finais das areias, as quais se podem pretender reutilizar.

A remoção das areias, como já foi referido, tem o objectivo de proteger a linha de tratamento de avarias operacionais como assoreamento (digestor anaeróbio), aumento do desgaste de equipamentos (bombas, pontes raspadoras, centrífuga) e entupimentos (tubagens, sistema de distribuição do efluente nos Biofors[®]).

Como indicado na descrição da linha de tratamento, a extracção de areias nesta ETAR é feita em dois pontos da linha de tratamento: na obra de entrada e nos Sedipac 3D[®].

4.1.4.1. Extracção de Areias da Obra de Entrada

Durante o período inicial de exploração da ETAR de Sesimbra verificou-se a acumulação de uma quantidade significativa das areias nos canais da obra de entrada, o que prejudicava o normal funcionamento da linha de tratamento. Com a remodelação da ETAR, nomeadamente da obra de entrada, procurou-se encontrar uma solução que resolvesse este problema.

A solução adoptada passou por instalar cinco tubagens, com um diâmetro de 150 mm cada, na soleira do canal. Cada uma dessas tubagens tem associada uma válvula de cunha elástica e convergem numa única tubagem, com um diâmetro interno de 168 mm, permitindo assim a descarga directa das areias acumuladas na obra de entrada para o classificador de areias.

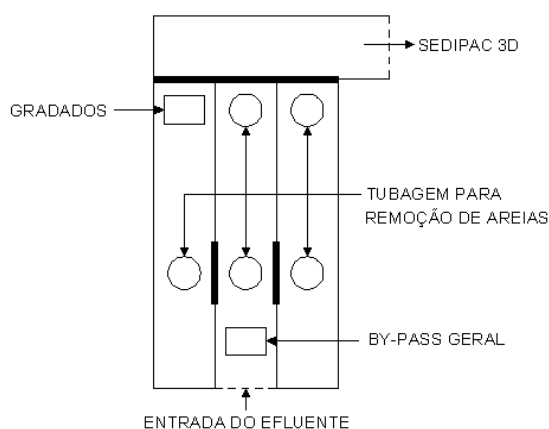


Figura 4.2 – Esquema da obra de entrada com o pormenor das tubagens de extracção de areias.

Esta operação é realizada pontualmente, sempre que a acumulação de areias no canal a justifica, e tendo em consideração que as válvulas de extracção de areias do Sedipac 3D[®] devem estar fechadas. Com o fecho destas válvulas evita-se a afluência simultânea das areias provenientes do Sedipac 3D[®] e da obra de entrada que, caso contrário, podiam exceder a capacidade do classificador de areias.

4.1.4.2. Extracção de Areias do Sedipac 3D[®]

A primeira etapa que ocorre nos Sedipac 3D[®] é a desarenação. Nesta operação pretende-se separar as areias até um diâmetro de grão de 0,2 mm e, simultaneamente, remover tanto quanto possível as partículas orgânicas da sua superfície.

O efluente tamisado entra nos Sedipac 3D[®] e é forçado a um fluxo descendente no sentido das fossas de extracção de areias, o que leva à acumulação das areias no fundo das mesmas.

Para evitar a deposição de matéria orgânica em suspensão juntamente com as areias e, para promover a remoção de parte da camada da matéria orgânica que envolve os grãos de areia, é necessário criar nesta zona uma forte agitação, esta que é assegurada por difusores de bolha média.



Figura 4.3 – Zona de Desarenação do Sedipac 3D®.

Nas fossas de extracção de areias existem, por cada um destes órgãos, duas tubagens com um diâmetro de 80 mm, a que estão associadas válvulas “PIC”. Estas tubagens que permitem a recolha das areias convergem para uma tubagem comum com um diâmetro 100 mm, situada abaixo do canal de alimentação dos Sedipac 3D®. A recolha é forçada pela carga hidráulica existente, havendo ainda uma alimentação de ar à entrada da tubagem de forma a evitar acumulações de areias e forçar o seu movimento (air-lift). Do colector comum, as areias são conduzidas para o classificador de areias.

A extracção de areias do Sedipac 3D® (apenas um órgão está já em funcionamento) não é contínua mas sim intermitente, consoante a quantidade de areias acumuladas e a consequente necessidade de extracção. Em condições de afluência normais a extracção é efectuada através da abertura das duas válvulas “PIC” durante um minuto, com intervalos de cinco em cinco minutos. A abertura das válvulas é alternada para que os períodos de abertura de ambas não coincidam. Deste modo evita-se a afluência de um elevado caudal ao colector comum e ao classificador de areias.

4.1.4.3. Classificador de Areias

As areias removidas na obra de entrada e no Sedipac 3D® são encaminhadas para o classificador de areias. Este equipamento, de marca SPECO, modelo DS 1000/S, encontra-se junto da obra de entrada.



Figura 4.4 – Classificador de areias da ETAR de Sesimbra.

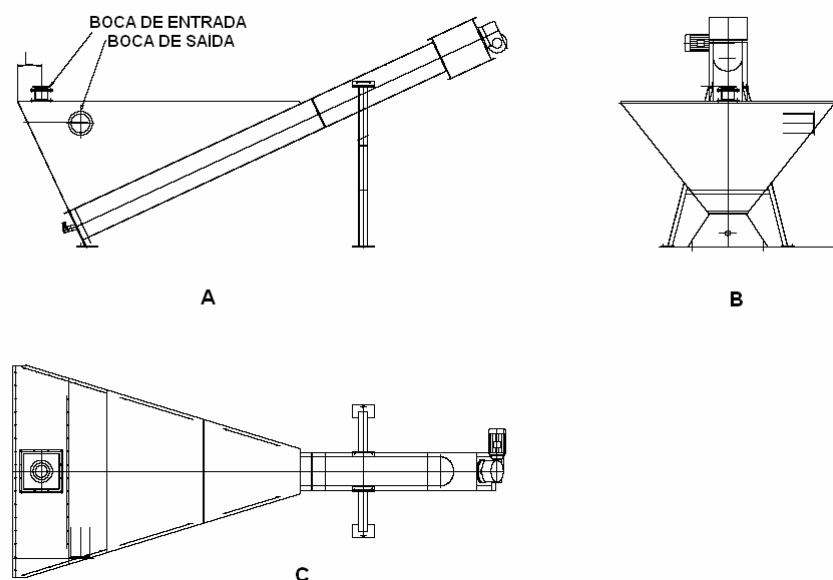


Figura 4.5 – Corte (A), vista frontal (B) e planta (C) do classificador de areias.

As características mais relevantes do classificador de areias encontram-se resumidas no Quadro 4.4, as restantes constam na ficha técnica do equipamento (Anexo III).

Quadro 4.4 – Principais características do classificador de areias (SIMARSUL, S. A., 2001₂).

Características Técnicas	Unidades	Valor
Caudal máximo (água + sólidos)	m ³ /h	36,0
Caudal pretendido (água + sólidos)	m ³ /h	20,0
Capacidade de remoção de sólidos	m ³ /h	0,5
Capacidade útil da tremonha	L	710
Inclinação do parafuso	°	25
Velocidade de rotação do parafuso	rpm	5
Diâmetro das tubagens de entrada	mm	100 e 168
Diâmetro das tubagens de saída	mm	150 e 168

As areias são removidas com um grande volume de efluente e introduzidas directamente no classificador através das duas tubagens: uma, com um diâmetro interno de 168 mm, que transporta as areias provenientes da obra de entrada; a outra, com um diâmetro de 100 mm, que transporta as areias provenientes do Sedipac 3D[®]. O efluente com as areias em suspensão entra na tremonha de decantação, onde os sólidos se depositam e a matéria orgânica é forçada a manter-se em suspensão.

A remoção das areias do fundo da tremonha é feita por uma espira (parafuso rotativo), com uma baixa velocidade de rotação que, além de favorecer a sedimentação, permite obter areias com um baixo teor de água.

O parafuso rotativo transporta as areias desde o fundo da tremonha e descarrega-as no contentor de armazenamento de areias, sendo, como referido anteriormente, enviadas posteriormente para aterro sanitário.



Figura 4.6 – Deposição das areias no contentor de armazenamento.

O efluente com a matéria orgânica em suspensão sai do classificador por duas tubagens, uma com um diâmetro de 150 mm e outra de 168 mm, e é encaminhado para o poço de escorrências, retornando à obra de entrada, a montante da tamisação.

O tempo de retenção das areias no classificador é um parâmetro muito importante, como se verá posteriormente no ponto 4.5, na definição do tempo de contacto com o hipoclorito de sódio.

Para calcular o tempo de retenção (t_r) é necessário conhecer o volume útil (V) da tremonha do classificador de areias e o caudal de entrada no mesmo (Q).

$$t_r = V/Q \quad \text{Equação 4.1}$$

O volume do classificador é conhecido (Quadro 4.4) mas o caudal de entrada no classificador não, uma vez que além de intermitente varia com outros factores. Para estimar o caudal de entrada no classificador é necessário conhecer a secção (S) e a velocidade (v) com que o efluente sai por essa secção.

$$Q = v \times S \quad \text{Equação 4.2}$$

Embora a secção seja conhecida a velocidade não o é. A velocidade varia com a altura da lâmina líquida e esta com a afluência do caudal de águas residuais à ETAR, que é variável ao longo do dia, do mês e do ano.

Assim, tendo em conta a dificuldade em estimar o caudal que entra no classificador de areias, estimou-se o tempo de retenção médio das areias tendo por base o volume útil da tremonha e a capacidade de remoção de sólidos.

A capacidade de remoção de sólidos não é mais que o caudal máximo de areias que pode ser removido do classificador. Então, pela Equação 4.1, quanto maior for o caudal menor o tempo de retenção, mas isto só é válido para o efluente. No caso das areias, se o caudal de entrada for superior à capacidade de remoção de sólidos do classificador (caudal de saída), o seu tempo de retenção será maior porque ficam depositadas no fundo da tremonha, em contacto com o efluente, até serem removidas pelo parafuso transportador.

Então, considerando o volume útil da tremonha e a capacidade de remoção de sólidos do classificador de areias, pela Equação 4.1, obtém-se um tempo de retenção médio das areias de 1,42 h, aproximadamente 1 h 25 min.

Além deste tempo de retenção médio, calculado de forma bastante simplificada, é interessante verificar o tempo de retenção mínimo e o tempo de retenção máximo das partículas de areia no classificador, para se ter uma ideia do intervalo de tempo em questão.

O tempo de retenção mínimo seria se a partícula entrasse na tremonha do classificador e fosse logo removida pelo parafuso rotativo. Tendo em conta a velocidade de sedimentação das areias (v) referida no ponto 1.3.1 (0,02 m/s) e a distância (D) entre a entrada das areias no classificador e o parafuso transportador (1,4 m), obtém-se um tempo de retenção de 70 segundos.

$$tr = D / v$$

Equação 4.3

O tempo de retenção máximo das areias será de 1 dia uma vez que todas as areias produzidas durante esse período são removidas, caso contrário teríamos acumulação de areias no classificador, o que não se verifica.

Quadro 4.5 – Tempos de retenção estimados das areias no classificador de areias.

Tempo de Retenção das Areias	Unidades	Valor
Tempo de Retenção Médio	h	1,42
Tempo de Retenção Máximo	h	24
Tempo de Retenção Mínimo	s	70

4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS

Os inertes que chegam às ETAR, essencialmente areias, são na sua maioria provenientes da recolha de caudal pluvial que os arrasta consigo. Inicialmente as características destas areias são as características das areias presentes na região abrangida pelo sistema de drenagem. Contudo, as suas características, desde que entram nos colectores até serem removidas nas ETAR, sofrem alterações devido ao seu contacto com as águas residuais.

Quando as areias são removidas nas ETAR, nomeadamente na operação de desarenação, as suas características são diferentes das areias inicialmente arrastadas. Forma-se uma camada de impurezas sobre a superfície dos grãos de areia, que lhes confere um elevado teor de matéria orgânica e de coliformes fecais.

Além disso, uma vez que a operação de desarenação e a classificação de areias se baseia nos princípios da sedimentação (velocidade de sedimentação), todos os sólidos com uma velocidade igual ou superior à velocidade de sedimentação estabelecida vão sedimentar, sendo removidos em conjunto com as areias. Assim, é de esperar que a composição destas areias não seja apenas partículas minerais.

Por estes motivos estas areias têm sido vistas como um resíduo, pelo que as análises efectuadas às mesmas prendem-se com os critérios de admissão dos resíduos em aterro, estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio. Tendo em conta as análises actualmente efectuadas a estas areias, a caracterização possível das mesmas baseia-se pois nos parâmetros analisados à luz do anexo III do Decreto-Lei acima referido.

As características das areias removidas nas ETAR não são obviamente uniformes, tal como se demonstra no Quadro 4.6 onde estão presentes os resultados das análises efectuadas às areias removidas em duas ETAR distintas. Os parâmetros analisados e os resultados obtidos em cada uma das ETAR encontram-se no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Resultados das análises das areias removidas em duas ETAR.

	Parâmetros	ETAR 1	ETAR 2
Análise sobre o Resíduo	Perda 105°C (%)	17	8,9
	Perda 500°C-Perda 105°C (%)	20	11
	Ponto de Inflamação (°C)	>100	>100
	Substâncias Lipofílicas (%)	<0,088 ⁽¹⁾	0,12
	Comp. Org. Vol. Hal. (%)	<1 x 10 ⁻⁵ ⁽¹⁾	<8 x 10 ⁻⁵ ⁽¹⁾
	Comp. Org. Vol. não Hal. (%)	<1 x 10 ⁻⁵ ⁽¹⁾	1,5 x 10 ⁻⁴
	Arsênio (mg/kg)	<26 ⁽¹⁾	<5,1 ⁽¹⁾
	Cádmio (mg/kg)	<4,3 ⁽¹⁾	<51 ⁽¹⁾
	Cobre (mg/kg)	16	<51 ⁽¹⁾
	Crômio (mg/kg)	46	<51 ⁽¹⁾
	Mercúrio (mg/kg)	0,05	0,2
	Níquel (mg/kg)	<15 ⁽¹⁾	<0,01 ⁽¹⁾
	Chumbo (mg/kg)	<29 ⁽¹⁾	<0,01 ⁽¹⁾
	Zinco (mg/kg)	68	<51 ⁽¹⁾
Análise sobre o Eluato	pH	7,8	7,3
	Condutividade (mS/cm)	0,427	0,712
	COT (mg C/L)	6,1	38
	Arsênio (mg/L)	<0,3 ⁽¹⁾	<0,01 ⁽¹⁾
	Cádmio (mg/L)	<0,05 ⁽¹⁾	<0,1 ⁽¹⁾
	Cobre (mg/L)	<0,14 ⁽¹⁾	<0,1 ⁽¹⁾
	Crômio VI (mg/L)	<0,01 ⁽¹⁾	<0,02 ⁽¹⁾
	Crômio total (mg/L)	<0,13 ⁽¹⁾	<0,1 ⁽¹⁾
	Mercúrio (mg/L)	<0,02 ⁽¹⁾	<0,02 ⁽¹⁾
	Níquel (mg/L)	<0,18 ⁽¹⁾	<0,2 ⁽¹⁾
	Chumbo (mg/L)	<0,35 ⁽¹⁾	<0,2 ⁽¹⁾
	Zinco (mg/L)	<0,40 ⁽¹⁾	<0,1 ⁽¹⁾
	Fenóis (mg/L)	<0,8 ⁽¹⁾	<0,8 ⁽¹⁾
	Fluoretos (mg/L)	<1,0 ⁽¹⁾	<1,0 ⁽¹⁾
	Cloretos (mg/L)	1,4	39
	Sulfatos (mg/L)	280	240
	Nitritos (mg/L)	3,3	0,3
	Amônio (mg/L)	21,2	14,8
	Cianetos (mg/L)	<0,2 ⁽¹⁾	<0,08 ⁽¹⁾
	AOX (mg Cl/L)	0,04	0,03

⁽¹⁾ O valor deste parâmetro é inferior ao limite quantificável do ensaio pelo qual foi determinado.

Na expectativa de que estes resultados traduzam uma boa aproximação da realidade das areias das ETAR, então estes resultados demonstram que, de acordo com o estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, estamos perante areias que cumprem todos os requisitos exigidos para serem depositadas em aterros para resíduos não perigosos.

Além disso, a maior parte dos parâmetros analisados cumpre igualmente os limites exigidos para a deposição em aterros para resíduos inertes. No caso da ETAR1 apenas a “Perda 500°C-Perda 105°C”, a condutividade, os nitritos e o amónio têm valores superiores aos exigidos para a admissão em aterros para inertes. Como o arsénio e os cianetos foram determinados por métodos cujo limite quantificável (LQ) é inferior ao valor exigido pelo Decreto-Lei n.º152/2002, de 23 de Maio, não se pode verificar se as areias da ETAR1 cumprem ou não os valores para esses dois parâmetros. No caso da ETAR2 apenas a “Perda 500°C-Perda 105°C”, a condutividade e o amónio têm valores superiores ao exigido. Para o valor do cádmio no resíduo não é possível verificar se cumpre ou não o exigido devido ao LQ do ensaio pelo qual foi determinado.

4.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

4.3.1. Amostragem e Redução da Amostra

Para realizar a análise granulométrica das areias da ETAR de Sesimbra foi necessário primeiro recolher uma amostra que fosse representativa das suas propriedades.

Para que uma análise forneça resultados credíveis é necessário proceder a uma recolha apropriada e cuidadosa da amostra, a qual foi realizada de acordo com a NP EN 932-1:2000, relativa aos métodos de amostragem.

As areias removidas do efluente e depositadas no contentor de areias foram revolvidas com uma pá de modo a homogeneizá-las. Depois, de vários pontos do contentor e a várias profundidades, foi recolhida, uma amostra com cerca de 50 kg no total.

A amostra recolhida, representativa das areias depositadas no contentor de areias, foi reduzida por esquartelamento, ou inquarteração, de acordo com as normas NP EN 932-1:2000 e NP EN 932-2:2002, até se obter uma amostra de aproximadamente 6 kg.



Figura 4.7 – Contentor de armazenamento das areias, antes da recolha da amostra.

4.3.2. Preparação da Amostra

Devido à origem da amostra é de esperar que estas areias tenham um elevado teor em matéria orgânica e em coliformes fecais, o que confere potenciais riscos ao seu manuseamento. Assim, para minimizar esses mesmos riscos, procedeu-se à preparação da amostra tendo em vista a diminuição da matéria orgânica e dos coliformes fecais presentes.

A amostra já reduzida foi sujeita a uma lavagem com hipoclorito de sódio com 13 % de cloro activo (p/p), seguindo-se um período de contacto de 24 h. Decorrido esse período a amostra foi repartida por 12 tabuleiros, com aproximadamente 0,5 kg de areias cada, e submetida a uma secagem na estufa durante 72 h a uma temperatura de 110 °C.

Após a secagem das areias cada tabuleiro foi colocado na mufla durante 1 h, a uma temperatura de 400 °C, e colocado posteriormente no exsicador para arrefecer até à temperatura ambiente.

Após este procedimento as areias foram conservadas nos tabuleiros durante 4 dias à mesma temperatura ambiente. Após esses 4 dias foram colocadas num recipiente de plástico para facilitar o seu transporte para o laboratório, onde se procedeu à análise granulométrica.



Figura 4.8 – Areia preparada para o ensaio granulométrico.

4.3.3. Método Experimental

O ensaio escolhido para a determinação da granulometria das areias da ETAR de Sesimbra baseia-se no método de peneiração a seco, e foi realizado de acordo com as normas NP EN 933-1:2000 e NP EN 933-2:1999.

Segundo a NP EN 933-1:2000, este ensaio consiste na separação, por meio de um conjunto de peneiros, de um material em diversas classes granulométricas de granulometria decrescente.

Os peneiros usados neste tipo de ensaio consistem num suporte metálico cilíndrico que serve de suporte a uma rede metálica de malha quadrada calibrada (DIAS, 2004). São concebidos de forma a encaixarem uns nos outros, formando uma coluna de peneiração, onde os peneiros são colocados uns por cima dos outros, por ordem crescente da abertura da malha (RODRIGUES, 2004). Para evitar perdas de material durante o ensaio é colocada uma tampa na parte superior da coluna e, na parte inferior, um peneiro “cego” destinado a receber as partículas de menor dimensão que atravessam toda a coluna sem serem retidas em nenhum dos peneiros (DIAS, 2004).

A escolha do número de peneiros e da abertura das malhas é função do objectivo da análise granulométrica e do rigor pretendido. Neste ensaio foram utilizadas três séries de peneiros, num total de 21 peneiros, de acordo com o Quadro 4.7.

Os peneiros usados, disponíveis no laboratório onde foi realizado o ensaio, são peneiros cuja abertura da malha é definida na especificação americana ASTM E11-87. Esta especificação precedeu a actual norma portuguesa em vigor que estabelece a abertura nominal dos peneiros. Assim, antes da publicação das normas europeias e nacionais nesta matéria, era usada como referência para a abertura da malha dos peneiros a referida especificação americana.

A abertura da malha dos peneiros definida pela NP EN 933-2:1999 não é mais que o ajuste das dimensões estabelecidas pela norma americana, uma vez que esta define a abertura da malha pelo número aberturas por polegada o que, ao converter em milímetros, dá aberturas pouco práticas.

A análise granulométrica efectuada foi realizada, como já foi referido, de acordo com o estabelecido nas normas NP EN 933-1:2000 e NP EN 933-2:1999, contudo os peneiros usados são os estabelecidos pela especificação americana ASTM E11-87, uma vez que eram os disponíveis no laboratório e que não diminuem o rigor do ensaio.

Segundo DIAS (2004) para se efectuar a análise granulométrica há que garantir que o peso da amostra é estatisticamente válido, pois caso tal não aconteça corre-se o risco dos resultados de todo o trabalho, bastante moroso, não terem significado. Além disso na NP EN 933-1:2000 é estabelecida a massa máxima que pode ficar retida em cada peneiro (Quadro 4.7) de modo a não criar uma sobrecarga no peneiro.

Quadro 4.7 – Séries de peneiros usados no ensaio e suas características (ASTM, 1987 e IPQ, 2000₂).

Série	Designação do Peneiro	Malha do Peneiro (mm)	Massa Máxima Retida (g)
1	3/8"	9,510	484,4
	*4	4,750	342,3
	*8	2,360	241,3
	*16	1,180	170,6
	*30	0,600	121,7
	35	0,500	111,1
	40	0,425	102,4
	45	0,355	93,6
2	*50	0,300	86,0
	60	0,250	78,5
	70	0,212	72,3
	80	0,180	66,6
	*100	0,150	60,8
	120	0,125	55,5
	140	0,106	51,1
3	170	0,090	47,1
	*200	0,075	43,0
	230	0,063	39,4
	270	0,053	36,2
	325	0,045	33,3
	400	0,038	30,6

Os peneiros assinalados no quadro com um asterisco são os peneiros cuja abertura da malha forma uma série geométrica de razão 2, começando no peneiro n.º 200 e que constituem a série principal.

A NP EN 933-1:2000 estabelece que cada provete de ensaio (amostra usada integralmente num mesmo ensaio) para agregado fino deve ter uma massa mínima de 200 g.

Pela mesma norma o resultado do ensaio baseia-se na relação da massa das partículas retida nos diversos peneiros com a massa inicial da amostra, e as percentagens cumulativas que passam em cada peneiro são apresentadas sob forma numérica e, quando necessário, graficamente (curva granulométrica).

Como referido no ponto 1.6 este ensaio permite ainda determinar a máxima dimensão do agregado, a mínima dimensão do agregado, o módulo de finura do agregado, a percentagem de finos e o grupo de solo a que estas areias pertencem (especificação ASTM D 2487-85).

4.3.3.1. Preparação dos Provetes

No âmbito deste ensaio foram preparados de acordo com a NP EN 933-1:2000 três provetes com cerca de 600 g cada. A redução da amostra inicial de cerca de 6 kg foi feita utilizando um divisor (também designado por esquartelador ou separador de areias) de acordo com as normas NP EN 932-1:2000 e NP EN 932-2:2002.



Figura 4.9 – Redução da amostra, para preparação dos provetes, utilizando esquartelador.

Devido à necessidade da preparação da amostra, de acordo com o ponto 4.3.2, não foi necessário proceder à secagem da mesma.

Como a redução da amostra é efectuada sem um valor exacto previamente definido foi feita a pesagem de cada provete e registada a sua massa.

4.3.3.2. Procedimento do Ensaio

O ensaio foi realizado de acordo com o estabelecido na NP EN 933-1:2000 e adoptado o seguinte procedimento:

1. As areias que constituem o provete a ensaiar são bem misturadas e despejadas na coluna de peneiros da 1ª série. Colocar o peneiro “cego” no fundo antes de despejar as areias;
2. Colocar a tampa e fixar o conjunto de peneiros no agitador mecânico e agitar durante 10 minutos;
3. Pesar a quantidade de areia retida em cada peneiro, removendo cuidadosamente as partículas que ficam presas na malha com uma escova;
4. A areia que fica depositada no peneiro “cego” após a 1ª série de peneiros é transferida para um tabuleiro com muito cuidado de modo a minimizar possíveis perdas. O peneiro “cego” é colocado no fundo dos peneiros da 2ª série;

5. As areias que passaram por todos os peneiros da 1ª série são despejadas na coluna de peneiros da 2ª série;
6. Colocar a tampa e fixar o conjunto de peneiros no agitador mecânico e agitar durante 10 minutos;
7. Pesar a quantidade de areia retida em cada peneiro, removendo cuidadosamente as partículas que ficam presas na malha com uma escova;
8. A areia que fica depositada no peneiro “cego” após a 2ª série de peneiros é transferida para um tabuleiro com muito cuidado de modo a minimizar possíveis perdas. O peneiro “cego” é colocado no fundo dos peneiros da 3ª série;
9. As areias que passaram por todos os peneiros da 2ª série são despejadas na coluna de peneiros da 3ª série;
10. Colocar a tampa e fixar o conjunto de peneiros no agitador mecânico e agitar durante 10 minutos;
11. Pesar a quantidade de areia retida em cada peneiro, incluindo o peneiro “cego”, removendo cuidadosamente as partículas que ficam presas na malha com uma escova.

Após a análise granulométrica do primeiro provete os peneiros são limpos cuidadosamente com a pistola de ar comprimido, lavados e secos na estufa antes de serem utilizados novamente.

O ensaio do segundo e terceiro provete é realizado igualmente segundo este procedimento.

4.3.4. Cálculos

No decorrer do ensaio foram registados os valores das massas retidas em cada peneiro no relatório de ensaio (Anexo VI), recorrendo a uma balança da marca PRECISA.



Figura 4.10 – Pesagem da areia retida num dos peneiros no decorrer do ensaio.

Após o ensaio granulométrico foram efectuados os seguintes cálculos:

1. A massa retida em cada peneiro, como percentagem da massa original seca (IPQ, 2000₂);
2. A percentagem cumulativa da massa original seca que passa através de cada peneiro até ao peneiro de abertura de 0,063 mm, mas excluindo este (IPQ, 2000₂);
3. A percentagem de finos (f) que passa através do peneiro de abertura de 0,063 mm, de acordo com a seguinte equação (IPQ, 2000₂):

$$f = (((M_1 - M_2) + P) / M_1) * 100 \quad \text{Equação 4.4}$$

onde:

M_1 é a massa seca do provete de ensaio, em quilogramas;

M_2 é a massa seca do material com granulometria superior a 0,063 mm, em quilogramas;

P é a massa do material peneirado retido no recipiente de fundo, em quilogramas.

4. A abertura da malha, em mm, onde passou 10 %, 30 % e 60 % da massa do agregado, respectivamente, D_{10} , D_{30} e D_{60} , para determinar o grupo de solo a que pertence segundo a classificação de solos definida pela especificação ASTM D 2487-85.

Os resultados obtidos são expressos de forma numérica e graficamente através da curva granulométrica.

Este ensaio permitiu ainda determinar a máxima e a mínima dimensão do agregado e o seu módulo de finura.

4.3.5. Validação dos Resultados

Segundo a norma NP EN 933-1:2000 os resultados são considerados válidos se a soma das massas retidas em todos os peneiros, incluindo o peneiro “cego”, não diferir mais de 1 % da massa inicial do provete.

4.4. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

O coeficiente de permeabilidade **K** é definido como o caudal que atravessa a unidade de área de um solo sob a acção de um gradiente hidráulico, traduzindo a dificuldade que a água tem em percolar através desse mesmo solo. Este coeficiente tem as dimensões de uma velocidade e é expresso geralmente em metros por segundo (m/s) (SANTANA, 2007₂).

A determinação da permeabilidade pode ser feita recorrendo a métodos laboratoriais (p.e. permeâmetros), ensaios *in situ* ou a métodos semi-empíricos (SANTANA, 2007₂).

O método escolhido para a determinação do coeficiente de permeabilidade das areias da ETAR de Sesimbra foi o método semi-empírico recorrendo à fórmula de Hazen. Este método baseia-se na determinação do **K** a partir de características dos solos, neste caso da granulometria das areias.

O coeficiente de permeabilidade calculado pela fórmula de Hazen é determinado pela seguinte equação:

$$K = C \times d_{10}^2 \quad \text{Equação 4.5}$$

onde,

K é o coeficiente de permeabilidade em cm/s;

C é a constante que depende do tamanho médio do grão (100 no caso das areias); e,

d_{10} é o diâmetro efectivo da partícula, em cm, correspondente à percentagem de 10 % do gráfico da curva granulométrica – 10 % das partículas são mais finas e 90 % mais grossas (COELHO, 1996).

Assim, com base na curva granulométrica obtida através do ensaio granulométrico, é calculado o diâmetro efectivo d_{10} e, sabendo o valor da constante C, facilmente se determina o coeficiente de permeabilidade das areias.

Segundo COELHO (1996), este coeficiente aumenta com o crescimento do tamanho de vazios, que por sua vez cresce com o tamanho dos grãos. Mas, além do tamanho de vazios, também a sua forma influencia a permeabilidade. Por isso só é possível calcular o **K**, relacionando a permeabilidade com o tamanho dos grãos, para solos de grãos médios a grosseiros e arredondados, como é o caso das areias.

4.5. ENSAIO COM O HIPOCLORITO DE SÓDIO: DOSES E TEMPOS DE CONTACTO DIFERENTES

No tratamento de águas residuais o hipoclorito de sódio (NaOCl) é usado em várias aplicações, nomeadamente na desinfecção do efluente final, devido ao seu poder oxidante. O hipoclorito de sódio, como referido anteriormente, tem a vantagem de estar facilmente disponível, a um preço bastante acessível, e o seu manuseamento ser mais fácil e seguro que o cloro. Assim, tendo em consideração os meios disponíveis e os objectivos do ensaio, o hipoclorito de sódio foi o reagente escolhido.

Como não foi encontrado nenhum procedimento experimental na bibliografia para este tipo de ensaio, as doses escolhidas para o ensaio tiveram por base os valores referidos na bibliografia para desinfecção de águas residuais.

Segundo WHITE (1992), a desinfecção do efluente secundário com hipoclorito de sódio é feita com o doseamento de 12 a 15 mg NaOCl/L . Contudo, SPELLMAN (1999) refere que para o tratamento de águas residuais os valores de cloro activo a adicionar devem ser na ordem dos 40 a 60 mg/L. Como não se encontrou referência à aplicação de cloro, em particular de hipoclorito de sódio, em areias e atendendo à possível formação de subprodutos, nomeadamente os THM, optou-se por realizar os ensaios com doses de 10 e 20 mg NaOCl/L .

As soluções de hipoclorito de sódio com as concentrações pretendidas foram preparadas imediatamente antes do ensaio, de modo a não haver redução do cloro activo, a partir da solução inicial com 13 % de cloro activo (p/p).

Para os tempos de retenção escolhidos teve-se em consideração o tempo de retenção das areias no classificador. Assim, os tempos de contacto escolhidos para a realização dos ensaios foram de 0,5 h e 2 h.

Depois de definidas as doses e os tempos de contacto a ensaiar (Quadro 3.2), definiram-se os parâmetros a analisar para cada uma das quatro amostras e para o branco (Quadro 4.8).

Quadro 4.8 – Parâmetros a analisar ao resíduo e ao eluato de cada amostra.

Parâmetro	Amostra				
Análise sobre o Resíduo	Branco	I	II	III	IV
Perda 105°C (%)	x	-	-	-	-
Perda 500°C-Perda 105°C (%)	x	-	-	-	-
Ponto de Inflamação (°C)	x	-	-	-	-
Substâncias lipofílicas (%)	x	-	-	-	-
Comp. Org. Vol. Hal. (%)	x	-	-	-	-
Comp. Org. Vol. não Hal. (%)	x	-	-	-	-
Arsênio (mg/kg)	x	-	-	-	-
Cádmio (mg/kg)	x	-	-	-	-
Cobre (mg/kg)	x	-	-	-	-
Crômio (mg/kg)	x	-	-	-	-
Mercúrio (mg/kg)	x	-	-	-	-
Níquel (mg/kg)	x	-	-	-	-
Chumbo (mg/kg)	x	-	-	-	-
Zinco (mg/kg)	x	-	-	-	-
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	x	x	x	x	x
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	x	x	x	x	x
Análise sobre o Eluato	Branco	I	II	III	IV
pH	x	-	-	-	-
Condutividade (mS/cm)	x	-	-	-	-
Carbono Orgânico Total (mg C/L)	x	x	x	x	x
Arsênio (mg/L)	x	-	-	-	-
Cádmio (mg/L)	x	-	-	-	-
Cobre (mg/L)	x	-	-	-	-
Crômio VI (mg/L)	x	-	-	-	-
Crômio total (mg/L)	x	-	-	-	-
Mercúrio (mg/L)	x	-	-	-	-
Níquel (mg/L)	x	-	-	-	-
Chumbo (mg/L)	x	-	-	-	-
Zinco (mg/L)	x	-	-	-	-
Fenóis (mg/L)	x	-	-	-	-
Fluretos (mg/L)	x	-	-	-	-
Cloretos (mg/L)	x	-	-	-	-
Sulfatos (mg/L)	x	-	-	-	-
Nitritos (mg/L)	x	-	-	-	-
Amônio (mg/L)	x	-	-	-	-
Cianetos totais (mg/L)	x	-	-	-	-
AOX (mg Cl/L)	x	x	x	x	x

No dia do ensaio, na ETAR de Sesimbra, foi feita a recolha de acordo com a NP EN 932-1:2000 duma amostra, com cerca de 25 kg, acondicionada convenientemente e transportada para o laboratório.

A amostra inicial foi homogeneizada, de acordo com as normas NP EN 932-1:2000 e NP EN 932-2:2002, e repartida em 5 amostras de 4 kg cada. Uma das amostras foi colocada num saco de plástico e identificada como: “Amostra 0 – Branco”. As outras quatro amostras foram colocadas em recipientes de plástico identificados com o número do ensaio, o tempo de contacto e a dose de hipoclorito de sódio.

Depois de colocadas as amostras nos recipientes de plástico identificados, adicionou-se a cada amostra de 4 kg de areia 16 L da solução de hipoclorito de sódio com a concentração correspondente e deu-se início ao ensaio de acordo com o descrito no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Planificação das etapas do ensaio.

Horas	Ensaio			
	I	II	III	IV
9h00	Recolha das amostras – ETAR de Sesimbra			
11h00	Início dos Ensaios – Laboratório FCT			
11h10	Início do TC			
11h20			Início do TC	
11h40	Fim do TC			
11h50	Filtrar			
12h00				
12h10		Início do TC		
12h20				Início do TC
12h40		Fim do TC		
12h50		Filtrar		
13h00				
13h20			Fim do TC	
13h30			Filtrar	
13h40				
14h20				Fim do TC
14h30				Filtrar
14h40				
15h00	Colocar as amostras dos 4 ensaios + Branco nos sacos e etiquetar			
16h30	Entrega das 5 amostras no Laboratório do ISQ ⁽¹⁾			

Nota: TC significa tempo de contacto.

⁽¹⁾ Instituto de Soldadura e Qualidade.

Durante o tempo de contacto das areias com o hipoclorito de sódio promoveu-se a agitação regular para garantir o contacto entre o reagente e as areias.

Cada amostra, após o tempo de contacto respectivo com o hipoclorito de sódio, foi filtrada, colocada num saco identificado com o número do ensaio a que correspondia, e devidamente acondicionada.

Após o ensaio, as amostras (incluindo o branco) devidamente acondicionadas foram colocadas em malas térmicas e transportadas até ao laboratório acreditado onde se procedeu à análise dos parâmetros pré-estabelecidos para cada amostra.

5. RESULTADOS

5.1. ENSAIOS COM O HIPOCLORITO DE SÓDIO

Os resultados dos ensaios realizados de acordo com o descrito no ponto 4.5, para os parâmetros exigidos no anexo III do Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, encontram-se resumidos no Quadro 5.1, Quadro 5.2 e Quadro 5.3. No Quadro 5.1 e Quadro 5.2 são indicados os resultados referentes ao branco, ou seja, à amostra à qual não foi adicionada nenhuma dose de hipoclorito de sódio correspondendo, respectivamente, à análise sobre o resíduo e à análise sobre o eluato.

Quadro 5.1 – Resultados do ensaio em branco referentes à análise sobre o resíduo.

Parâmetro	Unidades	Ensaio em Branco
Perda (105°C)	(%)	23
Perda (500°C) - Perda (105°C)	(%)	11
Ponto de Inflamação	(°C)	>100
Substâncias Lipofílicas	(%)	0,43
Compostos Orgânicos Voláteis Halogenados	(%)	0,000002
Compostos Orgânicos Voláteis Não Halogenados	(%)	0,000005
Arsénio	(mg/kg m.s.)	<5,0
Cádmio	(mg/kg m.s.)	<0,67 ⁽¹⁾
Cobre	(mg/kg m.s.)	66
Crómio	(mg/kg m.s.)	55
Mercúrio	(mg/kg m.s.)	<0,25 ⁽¹⁾
Níquel	(mg/kg m.s.)	<17 ⁽¹⁾
Chumbo	(mg/kg m.s.)	<17 ⁽¹⁾
Zinco	(mg/kg m.s.)	110

⁽¹⁾ O valor deste parâmetro é inferior ao limite quantificável do ensaio pelo qual foi determinado.

Quadro 5.2 – Resultados do ensaio em branco referentes à análise sobre o eluato.

Parâmetro	Unidades	Ensaio em Branco
pH	-	7,1
Condutividade	(mS/cm)	1,4
Carbono Orgânico Total	(mg C/L)	52
Arsénio	(mg/L)	<0,05 ⁽¹⁾
Cádmio	(mg/L)	<0,0005 ⁽¹⁾
Cobre	(mg/L)	0,04
Crómio IV	(mg/L)	<0,02 ⁽¹⁾
Crómio Total	(mg/L)	<0,01 ⁽¹⁾
Mercurio	(mg/L)	<0,0005 ⁽¹⁾
Níquel	(mg/L)	0,01
Chumbo	(mg/L)	0,0087
Zinco	(mg/L)	0,31
Fenóis	(mg/L)	0,10
Fluretos	(mg/L)	<0,05 ⁽¹⁾
Cloretos	(mg/L)	21
Sulfatos	(mg/L)	340
Nitritos	(mg/L)	<0,02 ⁽¹⁾
Amónio	(mg/L)	160
Cianetos totais	(mg/L)	0,062
AOX	(mg/L)	0,07

⁽¹⁾ O valor deste parâmetro é inferior ao limite quantificável do ensaio pelo qual foi determinado.

Os parâmetros de “Perda a 105 °C” e de “Perda a 500°C-Perda a 105°C” representam, respectivamente, a percentagem de humidade e a percentagem de matéria orgânica presente nas areias removidas na ETAR de Sesimbra. A “Perda a 105 °C” permite calcular o teor de matéria seca, que será a matéria total menos o teor de humidade, ou seja, cerca de 77 %. A “Perda a 500°C-Perda a 105°C” é também designada como a perda por calcinação, que neste caso corresponde a 11 %.

No Quadro 5.3 são indicados os resultados referentes aos parâmetros analisados em todas as amostras, incluindo o branco.

Quadro 5.3– Resultados dos coliformes totais e fecais, COT e AOX das amostras.

Parâmetros		Unidades	Amostra				
			Branco	I	II	III	IV
Tempo de Contacto		(horas)	0	0,5	0,5	2	2
Dose de Hipoclorito de Sódio		(mg/L)	0	10	20	10	20
Análise sobre o Resíduo	Coliformes Totais	(NMP/g)	5,8x10 ⁶	5,9x10 ⁶	8,2x10 ⁶	4,8x10 ⁶	4,1x10 ⁶
	Coliformes Fecais	(NMP/g)	2,6x10 ⁶	6,7x10 ⁵	6,8x10 ⁵	6,8x10 ⁵	4,6x10 ⁵
Análise sobre o Eluato	Carbono Orgânico Total	(mg C/L)	52	45	29	440	98
	AOX	(mg Cl/L)	0,07	0,04	<0,05 ⁽¹⁾	<0,25 ⁽¹⁾	0,02

⁽¹⁾ O valor deste parâmetro é inferior ao limite quantificável do ensaio pelo qual foi determinado.

5.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados da análise granulométrica das amostras das areias removidas na ETAR de Sesimbra, efectuada de acordo com o procedimento descrito no ponto 4.3, encontram-se no Quadro 5.4.

Quadro 5.4– Resultados da análise granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

Peneiro		Material Retido ⁽¹⁾ (g)	Material Retido (%)	Material Retido Acumulado (%)	Material Passado Acumulado (%)
N.º	Malha (mm)				
3/8"	9,510	0,00	0,0	0,0	100,0
*4	4,750	34,69	5,5	5,5	94,5
*8	2,360	78,94	12,6	18,1	81,9
*16	1,180	133,92	21,3	39,4	60,6
*30	0,600	153,86	24,5	63,9	36,1
35	0,500	50,54	8,1	72,0	28,0
40	0,425	24,20	3,9	75,8	24,2
45	0,355	57,11	9,1	85,0	15,0
*50	0,300	26,05	4,2	89,1	10,9
60	0,250	32,07	5,1	94,2	5,8
70	0,212	13,30	2,1	96,4	3,6
80	0,180	8,24	1,3	97,7	2,3
*100	0,150	4,41	0,7	98,4	1,6
120	0,125	4,54	0,7	99,1	0,9
140	0,106	2,04	0,3	99,4	0,6
170	0,090	1,14	0,2	99,6	0,4
*200	0,075	1,00	0,2	99,8	0,2
230	0,063	0,90	0,1	99,9	0,1
270	0,053	0,43	0,1	100,0	0,0
325	0,045	0,24	0,0	100,0	0,0
400	0,038	⁽²⁾ 0,00	0,0	100,0	0,0
Refugo		⁽²⁾ 0,00	0,0	100,0	0,0

* Peneiros da série principal.

⁽¹⁾ Média ponderada dos três provetes de ensaio.

⁽²⁾ O peneiro continha residual não quantificável devido à precisão da balança utilizada.

O relatório desta análise granulométrica, elaborado de acordo com o anexo C da NP EN 933-1:2000, e no qual são indicadas as massas de cada provete ensaiado, bem como os resultados obtidos de cada um deles, encontra-se no Anexo VI.

Os resultados obtidos neste ensaio podem ser representados graficamente pela curva granulométrica correspondente, traçada com base na abertura da malha dos peneiros e a respectiva percentagem de material passado acumulado (Figura 5.1).

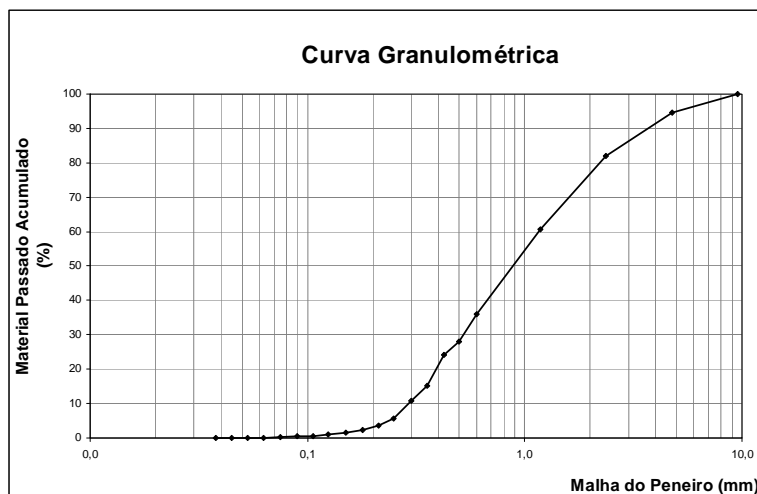


Figura 5.1 – Curva granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

Esta curva granulométrica representa a média ponderada do material passado acumulado dos três ensaios realizados.

5.2.1. Validação dos Ensaios

Para que o ensaio seja válido é necessário que a diferença entre a massa inicial de cada provete e o somatório das massas retidas em cada peneiro, incluindo o peneiro “cego”, não seja superior a $\pm 1\%$. No Quadro 5.5 são indicadas as massas iniciais de cada provete, o somatório das massas retidas em cada peneiro e a respectiva diferença.

Quadro 5.5 – Validação dos ensaios granulométricos.

Provete	Massa Inicial (g)	Somatório das Massas Retidas (g)	Validação ($\leq 1\%$)
1	609,2	606,5	0,44
2	649,9	647,5	0,37
3	630,8	627,5	0,52

Como a diferença entre a massa inicial e o somatório das massas retidas é inferior a 1% em todos os ensaios, todos os ensaios foram validados.

É de referir que no peneiro n.º 30 (0,600 mm) foi excedida ligeiramente, nos três ensaios, a massa máxima que pode ficar retida neste peneiro. Contudo, essa diferença não é suficientemente significativa a ponto de por em causa a validade dos ensaios.

5.2.2. Máxima e Mínima Dimensão do Agregado

Por análise da abertura das malhas dos peneiros e das percentagens de material passado acumulado correspondentes, segundo o definido nas normas NP EN 12620:2003 e NP EN 13139:2005, a máxima dimensão do agregado (D) é 4,750 mm.

Quanto à mínima dimensão do agregado (d), nas normas acima referidas, esta dimensão é dada pela abertura do peneiro inferior. Ao contrário da máxima dimensão do agregado, em que é admitida a presença de uma percentagem de partículas com dimensão superior, para a mínima dimensão do agregado não é referida qualquer percentagem para partículas com dimensão inferior a d . Nas séries de peneiros usadas na análise granulométrica o peneiro de dimensão inferior é o peneiro “cego”, onde foram recolhidas as poucas partículas que não ficaram retidas em nenhum dos outros peneiros. Tendo em conta esta definição, a mínima dimensão do agregado é de 0 mm. Mas, normalmente, quando se fala em mínima dimensão do agregado, segundo COUTINHO (1997₁) que refere o disposto nas especificações ASTM, admite-se que pode haver até 5 %, em massa, de partículas com dimensão inferior a d . Neste caso a mínima dimensão do agregado é de 0,212 mm.

Segundo as mesmas normas e COUTINHO (1997₁), todos os agregados devem ser definidos em termos das dimensões no agregado usando a designação d/D . Assim, a dimensão do agregado das areias removidas na ETAR de Sesimbra é 0/4,750 mm ou 0,212/4,750 mm, conforme se admita ou não a presença de algumas partículas (≤ 5 %) de dimensão inferior a d .

5.2.3. Módulo de Finura

Tendo em consideração que o módulo de finura é calculado pelo quociente por 100 do somatório das percentagens do material retido acumulado nos peneiros da série principal ASTM (excepto o peneiro n.º 200), obteve-se um módulo de finura de 3,1.

Embora a definição e a fórmula para o cálculo deste parâmetro pelas normas NP EN 12620:2003 e NP EN 13139:2005, referente aos agregados para betão e argamassas, sejam iguais às das especificações ASTM, a abertura da malha dos peneiros considerados é diferente, pelo que, forçosamente, as percentagens do material retido acumulado nesses peneiros serão diferentes. Mas, conhecendo a abertura da malha dos peneiros a considerar, por interpolação, é possível determinar o módulo de finura com base no disposto nas referidas normas. Com base neste pressuposto, obteve-se um módulo de finura de 2,6.

5.2.4. Percentagem de Finos

A percentagem de finos, também designada por teor de finos, segundo COUTINHO (1997₁), não deve ser superior a 2 % e é calculada pela Equação 4.4, de acordo com a NP EN 933-1:2000. Tendo em conta a percentagem de finos obtida para cada ensaio, a média ponderada da percentagem de finos para as areias em estudo é de 0,55 %.

Quadro 5.6 – Parâmetros usados no cálculo da percentagem de finos.

Parâmetros	Unidades	Provete de Ensaio		
		1	2	3
M ₁	kg	0,6092	0,6499	0,6308
M ₂	kg	0,6061	0,6467	0,6267
P	kg	⁽¹⁾ 0,0000	⁽¹⁾ 0,0000	⁽¹⁾ 0,0000
Percentagem de Finos	%	0,51	0,49	0,65
Percentagem de Finos Ponderada	%	0,55		

⁽¹⁾ O peneiro continha residual não quantificável devido à precisão da balança utilizada.

5.2.5. Classificação do Tipo de Solo com base na Granulometria

Embora existam múltiplas classificações dos solos devido à diversidade de ciências que o estudam e para as quais os interesses divergem, no âmbito desta dissertação, tendo em consideração os potenciais usos que se estão a equacionar, faz todo o sentido analisar os resultados utilizando uma classificação de solos baseada na granulometria e usual em engenharia civil.

Segundo COUTINHO (1997₁) o peneiro n.º 4 (4,75 mm) é o peneiro que convencionalmente separa o agregado grosso da areia. Já as normas NP EN 12620:2003 e NP EN 13139:2005 definem 4 mm como a dimensão que separa o agregado grosso da areia. Mas, segundo SIMÕES (1955) na classificação da International Society of Soil Science e COELHO (1996) na classificação nacional, a dimensão que separa agregado grosso da areia é de 2 mm. Dentro da classe das areias a classificação MIT, referida também em COELHO (1996), permite ainda definir se se trata de uma areia grossa (2 a 0,6 mm), média (0,6 a 0,2 mm) ou fina (0,2 a 0,06 mm).

Analisando os resultados obtidos à luz destas classificações, embora os limites divirjam significativamente, está-se claramente na presença de uma areia granulometricamente falando, e em particular de uma areia grossa.

A especificação americana ASTM D 2487-85 permite uma classificação do tipo de solo mais detalhada e com base nas percentagens de material passado acumulado, obtidas na análise granulométrica. Segundo esta especificação, para obter o grupo de solo a que as estas areias pertencem é necessário conhecer as dimensões D₁₀, D₃₀ e D₆₀. Estas dimensões foram calculadas

por interpolação tendo em consideração a abertura da malha dos peneiros e as percentagens de material passado acumulado, respectivamente, 10 %, 30 % e 60 %.

Quadro 5.7 – Dimensões para a classificação do tipo de solo (ASTM, 1985).

	Abertura da Malha dos Peneiros (mm)	Percentagem de Material Retido Acumulado (%)	Dimensão (mm)
D ₆₀	1,180	60,6	1,166
	0,600	36,1	
D ₃₀	0,600	36,1	0,525
	0,500	28,0	
D ₁₀	0,300	10,9	0,291
	0,250	5,8	

Com as dimensões D₁₀, D₃₀ e D₆₀ e segundo a Equação 5.1 e a Equação 5.2, determinou-se o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc) estabelecidos na norma, obtendo-se um valor de 4,0 para o Cu e 0,81 para o Cc. Estes valores determinam que as areias removidas na ETAR de Sesimbra pertencem ao grupo denominado como areia mal graduada, cujo símbolo é SP.

$$Cu = D_{60} / D_{10} \quad \text{Equação 5.1}$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \quad \text{Equação 5.2}$$

Embora as classificações do tipo de solo aqui mencionadas sejam bastante diferentes, inclusive no método e nos parâmetros a considerar para proceder à classificação do solo, em todas, as areias removidas na ETAR de Sesimbra, têm uma composição granulométrica equiparável à de uma areia corrente.

5.3. COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Para determinar o coeficiente de permeabilidade **K** calculado pela fórmula de Hazen (Equação 4.5) é necessário conhecer o diâmetro efectivo da partícula D₁₀ e a constante C. Sabendo que o D₁₀ é de 0,0291 cm e a constante C assume o valor de 100, o coeficiente de permeabilidade das areias removidas na ETAR de Sesimbra é de 8,5x10⁻⁴ m.s⁻¹.

LENCASTRE e FRANCO (2003) referem valores de **K** para alguns solos típicos, nomeadamente para a areia grossa. Segundo estes autores o valor do coeficiente de permeabilidade para este tipo de solo varia entre 10⁻⁴ m.s⁻¹ a 10⁻² m.s⁻¹. Uma vez que o valor de **K** das areias removidas na ETAR de Sesimbra se encontra dentro deste intervalo, reforça-se o facto de estas areias terem características semelhantes a uma areia corrente, não só do ponto de vista granulométrico como se comprovou no ponto 5.2.5, mas também a nível do coeficiente de permeabilidade.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. DESINFECÇÃO COM HIPOCLORITO DE SÓDIO DAS AREIAS REMOVIDAS NA ETAR DE SESIMBRA

Tendo em conta que estas areias são removidas das águas residuais, é natural que tenham um elevado teor em matéria orgânica e em coliformes totais e fecais. Adivinhando-se estes três parâmetros como cruciais para a valorização destas areias, a desinfecção com hipoclorito de sódio (NaOCl) pretendeu avaliar se a sua aplicação aumenta a qualidade sanitária das areias removidas na ETAR de Sesimbra, promovendo a redução dos coliformes e do carbono orgânico total (COT).

Como não foram encontrados na bibliografia ensaios similares, os resultados obtidos neste estudo apenas podem ser comparados entre eles. Estes resultados representam um contributo valioso dada a escassez de estudos nesta área, mas devem ser encarados com precaução e nunca como conclusivos.

De forma a tornar mais perceptível a comparação dos resultados obtidos para os vários ensaios, a análise é feita para cada parâmetro individualmente, recorrendo-se à análise gráfica dos resultados para que a interpretação seja mais intuitiva.

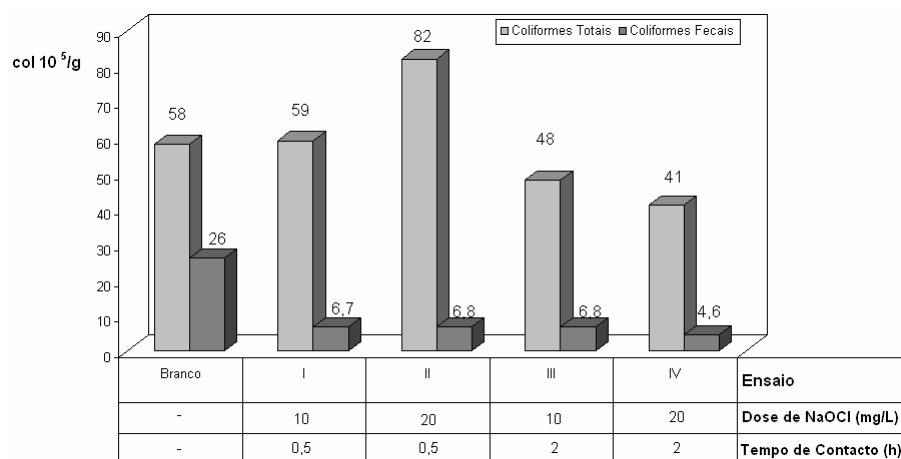


Figura 6.1 – Resultados dos ensaios com hipoclorito de sódio para os coliformes totais e coliformes fecais.

Uma vez que o objectivo dos ensaios com hipoclorito de sódio era avaliar a redução dos coliformes totais e fecais nas areias em estudo, os resultados obtidos para estes parâmetros não foram os esperados.

Analisando o gráfico da Figura 6.1 verifica-se que, para os coliformes totais, os valores obtidos no ensaio I e II são superiores ao ensaio em branco, o que não é imputável à adição de hipoclorito de sódio. Tendo em conta que a diferença entre o ensaio I e o branco é mínima, o ligeiro aumento poder-se-ia atribuir à precisão do método de análise. Contudo, o valor registado para o ensaio II põe de lado essa possibilidade uma vez que a diferença é muito significativa. Uma explicação possível para estes resultados é ter ocorrido algum erro na fase de amostragem ou na determinação deste parâmetro em laboratório. Outra explicação é a possibilidade do hipoclorito de sódio interferir de alguma forma com o método pelo qual é determinado este parâmetro. Independentemente da causa, os resultados dos coliformes totais obtidos para os ensaios I e II não podem ser considerados, o que leva a que não se possa fazer uma comparação entre a mesma dose de NaOCl para diferentes tempos de contacto.

A análise dos resultados para os coliformes totais cinge-se pois à análise dos resultados obtidos nos ensaios III e IV. Em ambos os ensaios, para este parâmetro, verifica-se uma ligeira redução em relação ao branco. Comparando os dois ensaios, o ensaio IV apresenta uma redução um pouco superior à do ensaio III, o que se pode dever à dose de desinfectante utilizada ser maior no ensaio IV (20 mg NaOCl/L) do que no ensaio III (10 mg NaOCl/L).

Os resultados obtidos para os coliformes fecais revelam que, em todos os ensaios, houve uma redução significativa comparativamente ao branco. Os ensaios I, II e III apresentam valores muito semelhantes para este parâmetro, sendo no caso dos ensaios II e III iguais. Estes resultados não permitem estabelecer uma relação entre a redução de coliformes fecais e as doses e tempos de contacto ensaiados. Ao compararem-se os resultados obtidos para o mesmo tempo de contacto verifica-se que, para um tempo de contacto de 0,5 h, a dose de 10 mg NaOCl/L (ensaio I) apresenta um valor um pouco mais baixo que o obtido para a dose de 20 mg NaOCl/L (ensaio II). Já para o tempo de contacto de 2 h verifica-se o contrário, a dose de 10 mg NaOCl/L (ensaio III) apresenta um valor superior ao obtido para a dose de 20 mg NaOCl/L (ensaio IV). O mesmo se verifica quando se compararam os resultados para a mesma dose de NaOCl: para uma dose de 10 mg NaOCl/L o ensaio I apresenta um valor ligeiramente inferior ao ensaio III, e, para uma dose de 20 mg NaOCl/L o ensaio II apresenta um valor superior ao ensaio IV. Esta análise dos resultados não permite estabelecer uma ligação entre a redução dos coliformes fecais com a dose e o tempo de contacto a que as areias foram sujeitas.

Tendo em conta o disposto no ponto 1.7, pela lei de Chick, era de esperar que, para a mesma concentração de desinfectante, quanto maior o tempo de contacto maior a redução de coliformes, ou seja, comparando o ensaio I com o III e o ensaio II com o ensaio IV, o ensaio III e IV deveriam apresentar valores mais baixos, o que não se verifica para o ensaio III. O facto das areias em estudo apresentarem um teor de matéria orgânica elevado, em particular no ensaio III, e da matéria orgânica reagir com o cloro, pode ter diminuído a eficiência da desinfecção com o hipoclorito de sódio.

Apesar de não se poder estabelecer uma relação entre a redução de coliformes totais e fecais obtidos em cada ensaio e as doses e os tempos de contacto a que as areias foram sujeitas, verifica-se que, para ambos os parâmetros, o ensaio IV é o que apresenta uma redução mais acentuada de coliformes.

Comparando os resultados obtidos para os coliformes fecais nos quatro ensaios, pode-se constatar que a desinfecção das areias, independentemente das doses e dos tempos de contacto testados neste trabalho, permitiu uma redução deste parâmetro abaixo dos 10^6 NMP/g. Esta constatação é relevante porque os valores obtidos para este parâmetro permitem que estas areias obedeçam ao valor estabelecido nos E.U.A. para que as lamas sejam consideradas aptas para valorização agrícola – classe B.

Sendo o ensaio IV o ensaio onde se verificam os valores mais baixos para os coliformes totais e fecais, e sendo este ensaio correspondente à dose mais elevada testada neste trabalho, seria interessante testar doses superiores a 20 mg NaOCl/L de modo a observar se, com o aumento da dose de desinfectante, estes parâmetros continuariam a diminuir, aumentando a qualidade microbiológica destas areias e potenciando ainda mais a sua reutilização.

Além da redução dos coliformes pretendia-se, como já foi referido, reduzir também o COT. Na Figura 6.2 apresenta-se o gráfico dos resultados obtidos para este parâmetro em cada ensaio, incluindo o branco.

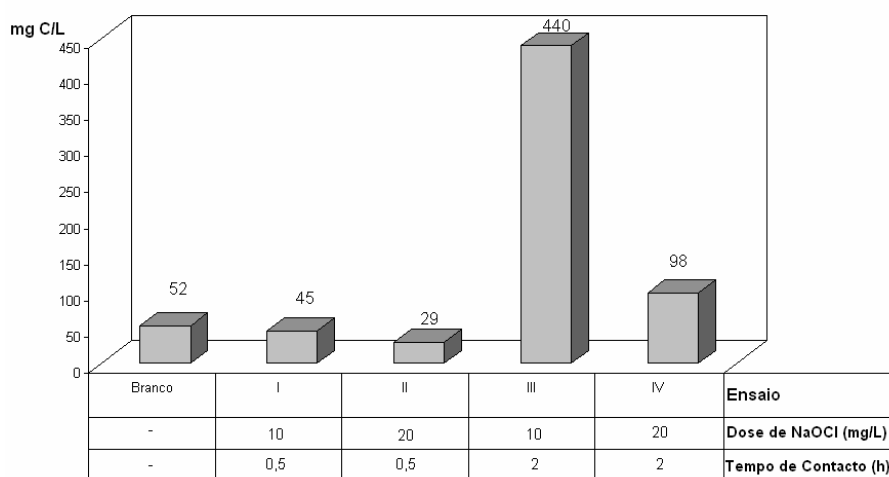


Figura 6.2 – Resultados dos ensaios com hipoclorito de sódio para o carbono orgânico total.

Analisando os resultados obtidos observa-se que no ensaio I e no ensaio II o COT sofreu uma redução, sendo particularmente significativa no ensaio II. O valor obtido para este parâmetro no ensaio II é muito importante porque, sendo inferior ao valor estabelecido no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, para a admissão dos resíduos em aterros para inertes, permite verificar que o COT pode facilmente deixar de ser um parâmetro impeditivo da deposição das areias em aterro para

inertes. Nos ensaios III e IV verifica-se um aumento muito acentuado dos valores obtidos para este parâmetro. No caso do ensaio III o valor do COT, comparativamente ao branco, aumenta cerca de 8,5 vezes e no ensaio IV duplica.

Comparando os resultados obtidos verifica-se que, para o mesmo tempo de contacto, os ensaios sujeitos a uma dose de 10 mg NaOCl/L (ensaios I e III), apresentam um valor de COT superior aos sujeitos a uma dose de 20 mg NaOCl/L (ensaios II e IV). Comparando os resultados para as mesmas doses de NaOCl verifica-se que, os ensaios sujeitos a um tempo de contacto de 0,5 h (ensaios I e II) apresentam valores de COT mais baixos que os ensaios sujeitos a um tempo de contacto de 2 h (ensaios III e IV). Com estes resultados observa-se que o COT aumenta com o aumento do tempo de contacto e diminui com o aumento da dose de NaOCl.

O aumento do COT com o aumento do tempo de contacto pode dever-se ao facto de, com a adição do hipoclorito de sódio e com a mistura que foi promovida durante esse período, ter-se “libertado” alguma matéria orgânica que estava agarrada à superfície dos grãos de areia passando a ser detectada pelo método pelo qual foi determinado este parâmetro. Pode também, ter acontecido que, para tempos de contacto superiores a 0,5 h, tenha havido formação de compostos pela adição do NaOCl que interferiam com o método de análise, falseando os resultados do COT.

Na presença de precursores orgânico, a desinfecção com cloro e seus derivados, como é o caso do hipoclorito de sódio, pode levar à formação de subprodutos indesejáveis, entre eles os trihalometanos (THM) que são compostos cancerígenos, tendo-se procedido à determinação dos compostos orgânicos halogenados adsorvíveis (AOX) nos vários ensaios.

A presença destes compostos não só pode inviabilizar a reutilização das areias como comprometer a linha de tratamento da ETAR e a qualidade do efluente final. A desinfecção das areias com hipoclorito seria a nível do classificador, onde o volume é significativamente inferior ao dos outros órgãos, sendo por isso necessário menor volume de solução de NaOCl. Uma solução possível na ETAR de Sesimbra seria fazer um ponto de picagem de NaOCl na tubagem de entrada do classificador onde, devido ao fluxo do efluente, existe a agitação necessária à mistura do desinfectante com o efluente e as areias. Uma vez que o desinfectante é diluído no efluente, quando este retorna ao canal da obra de entrada, leva consigo o NaOCl que não reagiu e os respectivos subprodutos que se possam ter formado, afectando deste modo, toda a linha de tratamento da ETAR e a qualidade do efluente final. Os resultados dos AOX relativos aos ensaios realizados são apresentados na Figura 6.3.

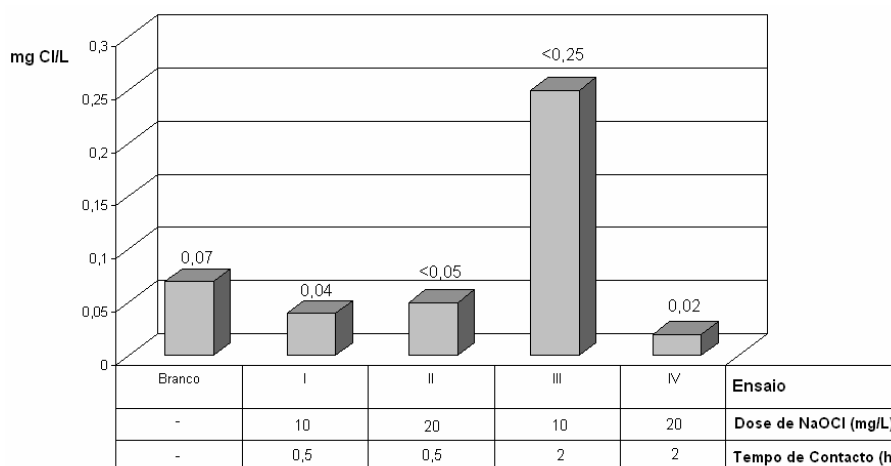


Figura 6.3 – Resultados dos ensaios com hipoclorito de sódio para os compostos orgânicos halogenados adsorvíveis (AOX).

Como se pode observar pelo gráfico os resultados obtidos revelam uma diminuição da concentração de AOX nos ensaios I, II e IV. Quanto ao ensaio III, como o limite quantificável (LQ) do método pelo qual foi determinado, é superior ao valor obtido para o branco, não é possível verificar se houve ou não diminuição deste parâmetro.

No ensaio II e no ensaio III a concentração de AOX não pode ser quantificada por ser inferior ao LQ, este que é diferente para cada ensaio. Sendo o mesmo parâmetro era de esperar que o método pelo qual foi determinado, e por conseguinte o LQ, fosse igual em todos os ensaios. Questionou-se o laboratório acreditado onde foram feitas as análises sobre a diferença do LQ nestes dois ensaios. A justificação dada pelo laboratório é que, quando as amostras têm um valor elevado de COT, como é o caso do ensaio III, é necessário subir o LQ do AOX devido à interferência do COT. Não conhecendo os valores dos ensaios II e III não é possível estabelecer qualquer relação entre os valores de AOX e as doses e tempos de contacto ensaiados, nem saber qual dos ensaios apresenta a menor concentração de AOX.

No entanto é interessante verificar que a concentração de COT e de AOX é menor no ensaio I do que no branco, como seria de esperar, mas, no ensaio IV verifica-se que os dois parâmetros não estão relacionados, uma vez que neste ensaio o valor do COT é superior ao branco e ao ensaio I, e o valor do AOX é inferior ao branco e ao ensaio I. Este resultado não está de acordo com o que seria expectável, uma vez que as concentrações de AOX estão, em geral, directamente relacionadas com a concentração de matéria orgânica. A explicação deste resultado pode prender-se com a fracção de ácidos húmicos e a fracção de ácidos fúlvicos não ser igual nas duas amostras, uma vez que os ácidos húmicos produzem mais AOX por unidade de COT do que os ácidos fúlvicos, o que a confirmar-se colocaria em causa o processo de amostragem realizado.

Da análise à concentração dos AOX no branco e nos diferentes ensaios, onde se verifica a diminuição da concentração, com excepção do ensaio III que devido ao LQ não é possível conhecer o seu valor, regista-se que a adição de hipoclorito de sódio não promove a formação AOX, pelo contrário, tende a diminuir a quantidade de AOX presente. Considerando que, como referido no ponto 1.7, a concentração de AOX tende a aumentar com o aumento da concentração e do tempo de contacto com o cloro, este resultado não era esperado. A concentração de AOX presente no ensaio I devia ser inferior à do ensaio IV, por ter uma concentração de NaOCl e um tempo de contacto inferiores, o que não se verifica.

A análise global de todos os parâmetros não permite determinar qual o ensaio em que se obtiveram melhores resultados. No entanto, à luz destes resultados que devem ser encarados com bastante prudência, o ensaio IV foi o que permitiu obter a melhor qualidade microbiológica das areias, e o ensaio II foi o que permitiu obter uma areia que, a nível de COT, respeita o estabelecido para deposição em aterros para inertes.

O facto destas análises serem bastante dispendiosas e de não ser objectivo deste trabalho determinar a concentração de desinfectante e o tempo de contacto óptimos, levou a que só tivesse sido utilizada uma amostra para cada ensaio, o que, tendo em conta os resultados analisados anteriormente, em particular para os coliformes, se revela insuficiente. Por isso em trabalhos futuros, para cada ensaio, devem ser realizadas, no mínimo, três amostras de modo confirmar os resultados, em especial os que suscitam dúvidas.

6.2. AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS RISCOS PARA A SAÚDE PÚBLICA E PARA O AMBIENTE

Antes de se avaliar a possibilidade de reutilizar as areias removidas na ETAR de Sesimbra nos vários usos equacionados, há que avaliar os potenciais riscos para a saúde pública e para o ambiente que possam advir do seu manuseamento e aplicação. Mas mesmo antes disso há que verificar duas coisas. Em primeiro lugar há que verificar se os resultados obtidos para os parâmetros exigidos pelo Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, são semelhantes aos das areias removidas nas outras ETAR referidas no ponto 4.2. Em segundo lugar, de acordo com esses mesmos resultados, há que verificar qual a classe de aterro para a qual essas areias devem ser encaminhadas, caso não sejam reutilizadas.

Analisando comparativamente os resultados obtidos nas análises ao resíduo e ao eluato, efectuadas às areias removidas na ETAR de Sesimbra (Quadro 5.1 e Quadro 5.2), com os resultados obtidos para as areias removidas na ETAR1 e na ETAR2 (Quadro 4.6), verifica-se que, em geral, tendo em conta os valores para os critérios de admissão, apresentam características bastante semelhantes. Os valores obtidos para os diferentes parâmetros nas três areias, cumprem todos os requisitos para que

sejam admitidas em aterros para resíduos não perigosos e, nas três, poucos são os parâmetros que as impedem de ser admitidas em aterros para inertes. Contudo, existem algumas pequenas diferenças que convém observar pela importância que assumem na definição da classe de aterro em que as areias são admitidas. Na análise sobre o resíduo, a percentagem de substâncias lipofílicas presentes nas areias removidas na ETAR de Sesimbra é bastante superior à das outras areias, tendo em conta o valor limite estabelecido para a sua admissão em aterro para inertes. Ao passo que nas areias da ETAR1 e da ETAR2 o valor para este parâmetro é bastante reduzido, no caso das areias removidas na ETAR de Sesimbra, embora inferior ao limite para admissão em aterros para inertes, aproxima-se bastante do mesmo. Já na análise sobre o eluato são três os parâmetros com valores significativamente superiores aos da ETAR1 e da ETAR2. Os valores obtidos para o COT, o amónio e os sulfatos são bem mais elevados nas areias removidas na ETAR de Sesimbra. No caso do COT o valor obtido condiciona a sua admissão em aterros para inertes, o que não se verifica nas outras duas areias. No caso do amónio, os valores obtidos nas três areias são superiores ao limite para a sua admissão em aterro para inertes. Contudo, para as areias removidas na ETAR de Sesimbra esse valor, em comparação com os das outras duas areias, é bastante elevado. Os sulfatos, embora um pouco mais elevados que nas areias da ETAR1 e da ETAR2, estão dentro dos limites para admissão em aterro para inertes. É de referir ainda que o valor dos nitritos presentes no eluato, nas areias da ETAR de Sesimbra, apresentam um valor bastante baixo quando comparado com os das outras areias e com o limite exigido.

Analisando agora apenas os resultados obtidos para as areias removidas na ETAR de Sesimbra, e comparando esses resultados com os critérios de admissão de resíduos nas diferentes classes de aterro, estabelecidos no anexo III do Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, verifica-se que estas areias cumprem todos os requisitos para serem admitidas na classe de aterros para resíduos não perigosos. Como na maioria dos parâmetros se observam valores muito inferiores aos limites estabelecidos para esta classe de aterros, identificam-se no Quadro 6.1 os poucos parâmetros que impedem a admissão destas areias em aterros para inertes.

Quadro 6.1 – Parâmetros das areias removidas na ETAR de Sesimbra que não cumprem os critérios de admissão estabelecidos para a classe de aterros para inertes.

Parâmetro	Unidades	Valor Limite ⁽¹⁾	Areias ETAR de Sesimbra
Perda a 500°C - Perda a 105°C	(%)	5 ⁽²⁾	11
Condutividade	(mS/cm)	6<y<50	1,4
COT	(mg C/L)	40	52
Amónio	(mg/L)	5	160

⁽¹⁾ Valor limite para admissão dos resíduos em aterros para inertes, estabelecido no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio.

⁽²⁾ Este valor pode ser ultrapassado sempre que se tratar de um resíduo que não seja susceptível de fermentar.

Ao analisar os valores estabelecidos no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, para a condutividade determinada no eluato não se compreende porque é que, uma vez que a condutividade avalia a presença de sais, o valor tem de se situar entre 6 e 50 mS/cm e não entre 0 e 50 mS/cm.

Além disso, não se compreende também porque é que, para este parâmetro, não existem valores limite para a classe de aterros de resíduos não perigosos. Na tentativa de verificar se se trata de um erro ou se, pelo contrário, é definido com base em algum fundamento, consultou-se a Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, documento que serviu de base à elaboração do referido Decreto-Lei, e a Decisão do Conselho 2003/33/CE de 19 de Dezembro de 2002. Constatou-se que em ambos os diplomas não são referidos valores para a condutividade, nem a necessidade de avaliar especificamente este parâmetro. Assim, de acordo com o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, diploma legal actualmente em vigor, as areias removidas na ETAR não cumprem o valor estabelecido para a condutividade, mas, se se verificar que o disposto nesse mesmo diploma contém um erro face ao limite inferior, este parâmetro deixa de condicionar a admissão destas areias em aterros para inertes.

Os valores para o COT e para o Amónio, em especial para o Amónio, são bastante mais elevados do que o limite permitido. Visto que para as areias removidas na ETAR1 e na ETAR2 são observados valores bastante inferiores, a presença de uma concentração tão elevada pode dever-se a duas particularidades relacionadas com a ETAR de Sesimbra. Por um lado, atipicamente quando comparado com o que acontece nas outras ETAR, as areias removidas na ETAR de Sesimbra não provêm exclusivamente da operação de desarenação. Neste caso particular existe um contributo de areias removidas da obra de entrada, estas, que não sendo sujeitas a desarenação, contêm um teor muito mais elevado de matéria orgânica. Além de não haver a remoção de matéria orgânica da superfície dos grãos que é promovida no desarenador (Sedipac 3D[®]), as areias removidas da obra de entrada arrastam consigo os outros detritos depositados no canal. Esta particularidade do funcionamento desta ETAR é já suficiente para justificar os valores elevados destes parâmetros. Contudo, existe ainda outro factor que pode contribuir para estes resultados, em especial para a concentração bastante elevada registada para o Amónio. Esse factor prende-se com a localização da ETAR de Sesimbra e com as actividades pesqueiras da vila de Sesimbra. As águas residuais que chegam à ETAR de Sesimbra transportam consigo grandes quantidades de escamas e espinhas de peixe, o que se reflecte na composição das areias removidas do efluente. Aquando da recolha das amostras das areias observou-se a presença de escamas e espinhas em quantidade bastante elevada. Estes dois factores – areias removidas da obra de entrada e presença de escamas e espinhas de peixe em quantidade elevada – pode explicar os valores elevados de COT e Amónio.

Seria interessante proceder futuramente à análise das areias removidas exclusivamente no desarenador e das areias removidas exclusivamente da obra de entrada. A comparação destes resultados, em especial do COT e do Amónio, permite avaliar o contributo de cada uma, e, adicionalmente, a eficácia de remoção de matéria orgânica na operação de desarenação. Além disso, seria igualmente interessante comparar estes resultados com os resultados de areias removidas noutras ETAR que não se situem em zonas pesqueiras, ou com areias das quais sejam removidas previamente as escamas e as espinhas de peixe, de modo a observar a influência que a presença destes detritos tem na composição destas areias.

No ensaio II, como se verificou no ponto anterior, o valor do COT é reduzido para 29 mg C/L, o que permite que este parâmetro deixe de condicionar a admissão destas areias em aterros para inertes.

Assim, se se comprovar que estas areias não são susceptíveis de fermentar, que o valor de COT e de Amónio pode ser reduzido até aos limites estabelecidos, e que valores inferiores a 6 mS/cm para a condutividade são admissíveis, estão reunidas as condições para que as areias passem a ser admitidas em aterros para inertes.

Depois desta análise onde se comprovou que as areias removidas na ETAR de Sesimbra apresentam características semelhantes às de outras ETAR, e se determinou qual a classe de aterros na qual são admitidas, tendo em consideração que se pretende avaliar a possibilidade de reutilizar estas areias, é imperativo analisar os riscos (reais e potenciais) que possam decorrer dessa reutilização.

Para avaliar os riscos da reutilização destas areias é necessário considerar que, independentemente do uso, estas areias terão de ser manuseadas. Aliás, estes riscos já deveriam estar avaliados pois a simples remoção das areias das ETAR, o seu transporte e deposição em aterro, implica o seu manuseamento. Com a ausência de critérios e de legislação nacional e comunitária, que estabeleça um regime específico ao qual o manuseamento deste subproduto deve obedecer, torna-se difícil comprovar que o manuseamento destas areias não constitui qualquer risco, uma vez que não existem critérios de comparação. Mas, para além do manuseamento, é necessário garantir que a sua aplicação nos diferentes usos equacionados neste trabalho, em particular nas almofadas de assentamento e na construção das camadas de aterro e pavimentos, não incorre em nenhum risco de saúde pública ou ambiental.

Há falta de critérios gerais para a reutilização de resíduos, e há falta de critérios específicos para as areias, a legislação que actualmente se encontra em vigor e que mais se aproxima do que se pretende com a reutilização destas areias é o Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho, que estabelece o regime de aplicação de lamas de ETAR em solos agrícolas – valorização agrícola das lamas.

Este diploma, que transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 86/278/CE, do Conselho, de 12 de Junho, determina os critérios a que as lamas provenientes das ETAR devem obedecer para evitar que a sua aplicação no solo tenha efeitos nocivos para o homem, para a água, para o solo, para a vegetação e para os animais. Tendo em conta todas as operações que têm de ser efectuadas para a aplicação das lamas no solo, em particular o seu manuseamento e transporte, e os riscos que advêm dessa mesma aplicação, nomeadamente o contacto com as pessoas e animais, a poluição difusa do solo, a contaminação de lençóis freáticos e o consumo dos produtos cultivados nesse mesmo solo, se os critérios estabelecidos para as lamas neste Decreto-Lei asseguram que são evitados os efeitos nocivos acima descritos, à partida não há razão para não crer que o mesmo se pode concluir em relação ao manuseamento e aplicação das areias em estudo.

No anexo I e II do Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho são estabelecidos os parâmetros a analisar nas lamas destinadas a utilização agrícola, contudo apenas são referidos valores limite para os metais pesados. No Quadro 6.2 são indicados os parâmetros gerais estabelecidos, os valores obtidos na análise sobre o resíduo para as areias removidas na ETAR de Sesimbra e, para os metais pesados, os valores limites impostos. É de referir que para além dos parâmetros gerais pode ser exigida por parte da entidade licenciadora, a determinação de outros parâmetros.

Quadro 6.2 – Parâmetros a analisar na aplicação das lamas de ETAR em solo agrícola e respectivos resultados das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

Parâmetro		Unidades	Valores Limite ⁽¹⁾	Areias ETAR de Sesimbra
Matéria Seca		(%)	-	77
Matéria Orgânica		(%)	-	11
pH		-	-	-
Azoto Total		-	-	-
Azoto Nítrico e Amoniacal		-	-	-
Fósforo Total		-	-	-
Metais Pesados	Cádmio	(mg/kg de m.s.)	20	<0,67 ⁽²⁾
	Cobre	(mg/kg de m.s.)	1 000	66
	Níquel	(mg/kg de m.s.)	300	<17 ⁽²⁾
	Chumbo	(mg/kg de m.s.)	750	<17 ⁽²⁾
	Zinco	(mg/kg de m.s.)	2 500	110
	Mercúrio	(mg/kg de m.s.)	16	<0,25 ⁽²⁾
	Crómio	(mg/kg de m.s.)	1 000	55

⁽¹⁾ Valores limite estabelecidos no Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho.

⁽²⁾ O valor deste parâmetro é inferior ao limite quantificável do ensaio pelo qual foi determinado.

As areias removidas na ETAR de Sesimbra respeitam todos os valores limite estabelecidos pela legislação relativa à valorização agrícola das lamas de ETAR. Em futuros trabalhos deverão ser determinados os restantes parâmetros, bem como consultadas as entidades responsáveis pelo licenciamento da aplicação das lamas no solo, de modo a conhecer valores de referência para os parâmetros que não têm valores limite estabelecidos no Decreto-Lei.

Supondo que se queria avaliar a possibilidade de valorização agrícola das lamas da ETAR de Sesimbra, ou de qualquer outra ETAR, os parâmetros a analisar eram os referidos no Quadro 6.2. Mas, no caso de querer enviar essas mesmas lamas para aterro teriam de ser avaliados todos os parâmetros que constam no Quadro 5.1 e no Quadro 5.2, englobando uma análise ao resíduo e outra ao eluato. Comparando os riscos que podem advir da aplicação das lamas em solo agrícola e os que podem advir da sua deposição em aterro, não faz sentido que para a deposição em aterro seja exigida uma análise mais exaustiva, incluindo uma análise ao eluato, do que a análise exigida para valorização agrícola dessas lamas.

Faz todo o sentido ser exigida uma análise ao eluato das lamas para aplicação em solo agrícola, pois a água da chuva e a água de rega, ao percolar pelo solo arrasta consigo os poluentes que possam estar presentes, contaminando as camadas mais profundas do solo ou linhas de água, superficiais e subterrâneas.

Embora o Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho, assegure que, pelo cumprimento dos parâmetros nele enunciados, são evitados os efeitos nocivos para o homem, água, solos, vegetação e animais, não é de crer, pela análise crítica acima efectuada, que estes parâmetros sejam suficientes. De todo o modo, uma vez que este é o único diploma legal ao qual se podem comparar os riscos da reutilização das areias removidas nas ETAR, e, que as areias em estudo cumprem todos os parâmetros para os quais são definidos valores limite, pode-se assumir que os riscos para a saúde pública e para o ambiente que advêm da reutilização das areias removidas na ETAR de Sesimbra, nos diferentes usos equacionados, são semelhantes aos que advêm do manuseamento e aplicação das lamas de ETAR em solos agrícolas. Riscos esses que, para o bem da saúde pública e do ambiente, se espera que sejam nulos ou muito reduzidos.

Com o intuito de aprofundar o mais possível a análise dos perigos de aplicar estas areias nos diferentes usos equacionados, e visto terem sido realizadas análises ao eluato e aos coliformes totais e fecais, procurou-se encontrar outros critérios na bibliografia, ou em diplomas legais em vigor, que permitissem fazer uma comparação entre os valores obtidos para as areias removidas na ETAR de Sesimbra e os valores estabelecidos nesses mesmos documentos.

O problema da reutilização das areias em almofadas de assentamento e em construção de aterro e pavimentação em estradas, devido a ficarem confinadas no solo, é a possível lixiviação das substâncias que possam estar presentes, principalmente pela água das chuvas, podendo causar, como já foi referido, poluição no solo e em linhas de água. Assim, se se assegurar que as substâncias que podem ser arrastadas na água não são prejudiciais para a saúde pública e para o ambiente, estas areias podem ser reutilizadas para estes fins com a garantia de não constituírem uma fonte poluidora.

O Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos, define, no anexo XVIII, as normas de descarga das águas residuais na água e no solo, visando a promoção da qualidade do meio aquático e a protecção da saúde pública e dos solos.

Comparando os resultados da análise ao eluato obtidos para as areias removidas na ETAR de Sesimbra, com o disposto no anexo XVIII, do referido diploma, pode-se verificar por comparação se estas areias constituem um perigo potencial para a saúde pública, para o meio aquático e para os solos. Como a análise ao eluato foi feita com base nos parâmetros estabelecidos no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, não foram analisados todos os parâmetros exigidos no Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. Contudo, no Quadro 6.3 apresentam-se os parâmetros estabelecidos no

diploma legal, que foram determinados na análise ao eluato, o respectivo valor limite de emissão (VLE), os valores obtidos na análise ao eluato das areias em estudo e o cumprimento ou não desses parâmetros.

Quadro 6.3 – Valores limite de emissão estabelecidos para a descarga de águas residuais na água e no solo, e dos resultados da análise ao eluato das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

Parâmetro	Unidades	VLE ⁽¹⁾	Areias ETAR de Sesimbra	Análise de Conformidade
pH	-	6,0 a 9,0	7,1	Conforme
Arsénio	(mg/L)	1,0	<0,05 ⁽²⁾	Conforme
Cádmio	(mg/L)	0,2	<0,0005 ⁽²⁾	Conforme
Cobre	(mg/L)	1,0	0,04	Conforme
Crómio IV	(mg/L)	0,1	<0,02 ⁽²⁾	Conforme
Crómio Total	(mg/L)	2,0	<0,01 ⁽²⁾	Conforme
Mercúrio	(mg/L)	0,05	<0,0005 ⁽²⁾	Conforme
Níquel	(mg/L)	2,0	0,01	Conforme
Chumbo	(mg/L)	1,0	0,0087	Conforme
Fenóis	(mg/L)	0,5	0,1	Conforme
Sulfatos	(mg/L)	2 000	340	Conforme
Cianetos Totais	(mg/L)	0,5	0,062	Conforme

⁽¹⁾ Valores limite de emissão estabelecidos no anexo XVIII do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto.

⁽²⁾ O valor deste parâmetro é inferior ao limite quantificável do ensaio pelo qual foi determinado.

Como se pode verificar pelo exposto no quadro anterior, para os parâmetros analisados, o eluato das areias removidas na ETAR de Sesimbra cumpre todos os valores impostos pela legislação. Assim, embora seja necessário analisar os outros parâmetros para garantir que a sua aplicação em almofadas de assentamento e em construção de aterros e pavimentos de estradas não provoca efeitos nocivos para a saúde, para a água e para o solo, a conformidade verificada para estes parâmetros é um bom indício para reforçar a possibilidade de reutilização destas areias.

A comparação feita anteriormente entre os resultados do resíduo das areias em estudo e a legislação aplicável às lamas de ETAR para uso agrícola, e a comparação entre os resultados do eluato dessas mesmas areias com o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, permitiu avaliar uma boa parte dos parâmetros cujo cumprimento assegura que os riscos para a saúde pública e para o ambiente são mínimos, ou mesmo inexistentes. Contudo falta ainda analisar um requisito extremamente importante, senão o mais importante: garantir a qualidade sanitária destas areias. Só se a qualidade microbiológica for garantida é que se pode afirmar que a sua reutilização é segura, não causando qualquer efeito nocivo, e assim, convencer o consumidor das inúmeras vantagens da sua reutilização e conquistar a sua confiança neste possível “produto”.

Como foi referido na introdução, não foram encontradas quaisquer exigências a nível da qualidade microbiológica das areias para os usos equacionados neste trabalho, o que torna impossível a sua

comparação com a qualidade microbiológica das areias removidas na ETAR de Sesimbra. Mesmo a aplicação de lamas de ETAR nos solos, segundo a legislação nacional, só é sujeita a avaliação da sua qualidade microbiológica se a entidade licenciadora assim o exigir, não sendo estabelecidos quais os parâmetros a determinar nem os valores limites ou os valores máximos recomendáveis. Perante este cenário torna-se difícil analisar a qualidade microbiológica das areias, para poder garantir ao consumidor que a sua reutilização é segura, tanto do ponto de vista de saúde pública como ambiental.

Embora a nível nacional não se encontrem valores de referência, segundo METCALF & EDDY (2003), nos E.U.A. as lamas provenientes das ETAR são classificadas segundo a sua qualidade microbiológica em dois grupos: classe A e classe B. As lamas da classe A são as que obedecem a critérios de qualidade mais rigorosos, onde os microrganismos patogénicos são reduzidos até níveis inferiores aos normalmente detectáveis. Estas lamas apresentam uma qualidade sanitária tal que é permitida a sua aplicação em jardins privados, parques infantis e campos de golfe, com a garantia de segurança total. As lamas pertencentes à classe B são lamas cujos microrganismos patogénicos foram reduzidos a níveis que dificilmente podem ser uma ameaça para a saúde pública e para o ambiente, sendo utilizadas na agricultura. O parâmetro usado para avaliar a qualidade microbiológica das lamas é os coliformes fecais, estes que, quando presentes, indicam normalmente a presença de microrganismos patogénicos de origem fecal. No Quadro 6.4 apresentam-se os valores estabelecidos para cada classe de lamas de ETAR e os valores obtidos para as areias removidas na ETAR de Sesimbra.

Quadro 6.4 – Parâmetros microbiológicos para as lamas de classe A e B e para as areias removidas na ETAR de Sesimbra (METCALF & EDDY, 2003).

Parâmetro	Lamas de ETAR		Areias removidas na ETAR de Sesimbra ⁽¹⁾
	Classe A	Classe B	
Coliformes Totais (NMP/g)	-	-	$5,8 \times 10^6$
Coliformes Fecais (NMP/g)	$1,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$

⁽¹⁾ Resultados obtidos no ensaio em branco.

Comparando os valores dos coliformes fecais verifica-se que o valor obtido para as areias removidas na ETAR de Sesimbra é muito próximo do exigido às lamas da classe B. Há que referir que os valores usados para avaliar a qualidade sanitária das areias em estudo foram os do ensaio em branco, ou seja, das areias que não foram sujeitas a nenhum tratamento adicional ao actualmente implementado na ETAR de Sesimbra. Isto deve ser tido em consideração uma vez que as lamas da classe B são sujeitas a tratamento e, por definição, estão estabilizadas.

Assim, tendo em conta o disposto anteriormente, estas areias embora não respeitem o valor exigido nos E.U.A. para as lamas aplicadas no solo agrícola, não apresentam um valor tão elevado que não possa ser equacionada a sua reutilização, admitindo inequivocamente que terão de ser sujeitas a um tratamento adequado.

O valor dos coliformes fecais elevado, embora não excessivo quando comparado com o valor da classe B, era de esperar devido ao facto de as areias serem removidas da água residual bruta que contém um valor enorme de coliformes totais, fecais e de outros microrganismos, entre eles microrganismos patogénicos. Contudo este valor pode ter sido empolado pela remoção de areias removidas da obra de entrada, com todos os agravantes referidos anteriormente, e do classificador de areias não possuir arejamento nem lavagem de areias. Estes dois pormenores têm feito a diferença na tecnologia dos classificadores de areia, uma vez que garantem que as areias removidas apresentam um teor de matéria orgânica muito inferior e uma qualidade sanitária muito superior. Além disso, como se verificou no ponto anterior, em todos os ensaios, a desinfecção com hipoclorito de sódio permitiu atingir, para os coliformes fecais, valores inferiores aos exigidos para as lamas da classe B.

Em resumo, para avaliar os potenciais riscos para a saúde e para o ambiente que a reutilização destas areias pode causar, foi necessário fazer analogias com outros subprodutos, nomeadamente com as lamas das ETAR, uma vez que não existe legislação nem critérios para avaliar a qualidade sanitária das areias removidas nas ETAR. A comparação dos resultados obtidos para as areias removidas na ETAR de Sesimbra com o exigido para as lamas para aplicação em solo agrícola, revelou que, para os parâmetros analisados, as areias cumprem os requisitos exigidos. A preocupação com a possível contaminação dos solos e dos lençóis freáticos, embora não exigido para as lamas a aplicar em solo agrícola, levou a que se comparasse os resultados obtidos para o eluato das areias em estudo com o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, onde se definem parâmetros que asseguram a qualidade do meio aquático, da saúde pública e dos solos, das descargas das águas residuais na água e no solo. Para os parâmetros analisados sobre o eluato das areias em estudo verificou-se que eram cumpridos igualmente todos os requisitos. Embora em nenhum destes diplomas seja exigido qualquer parâmetro relacionado com a qualidade microbiológica, devido à preocupação em assegurar que estas areias não constituem nenhum risco para a saúde pública e para o ambiente, comparou-se os valores obtidos para os coliformes fecais com o disposto nos E.U.A. para as lamas das ETAR. A comparação entre estes valores revelou que, embora as areias em estudo não tivessem sido sujeitas a nenhum tratamento adicional e tivessem um contributo de areias removidas directamente da obra de entrada, a qualidade microbiológica das areias em estudo é muito próxima da exigida às lamas para valorização agrícola nos E.U.A.

Depois de verificada a conformidade com os parâmetros para os quais havia resultados e, tendo em consideração que a desinfecção com hipoclorito de sódio permite atingir uma qualidade microbiológica que cumpre o estabelecido para as lamas de classe B, pode-se admitir que as areias removidas na ETAR de Sesimbra, pelos parâmetros analisados, não constituem um risco nem para a saúde pública nem para o ambiente. Como a análise feita neste trabalho é muito mais abrangente do que o exigido a nível nacional para as lamas de ETAR a aplicar em solo agrícola, salvaguarda-se o manuseamento e aplicação das areias em estudo nos usos equacionados, uma vez que os riscos

para a saúde pública e para o ambiente que possam advir da reutilização destas areias são em tudo semelhantes aos que possam advir da valorização agrícola de lamas.

Os problemas que actualmente se possam identificar, e que podem por em causa a reutilização das areias por falta de qualidade sanitária, deixam de fazer sentido, porquanto se encontram já disponíveis no mercado várias soluções, entre elas equipamentos com tecnologias bastante desenvolvidas, que asseguram uma redução acentuada do teor de matéria orgânica e um aumento muito significativo da qualidade sanitária destas areias. Existem tratamentos muito interessantes que podem contribuir, e muito, para que estas areias deixem de ser consideradas um resíduo e reúnam as condições necessárias para passarem a ser um produto. Muitos desses tratamentos são muito simples e não implicam um grande custo, viabilizando economicamente o tratamento destas areias.

Em trabalhos futuros seria interessante estudar o efeito de alguns desses tratamentos na qualidade das areias, quer em termos de matéria orgânica, quer em termos de coliformes, quer em termos de outros parâmetros que possam vir a ser equacionados. Dos tratamentos possíveis existem alguns que, pela sua simplicidade e custo reduzido, merecem destaque, entre eles: a secagem com ar quente até as partículas atingirem uma temperatura superior a 80 °C; tratamento térmico; pasteurização das areias a uma temperatura superior a 70 °C durante mais de 30 minutos; e leitos de secagem, onde as areias são colocadas por períodos superiores a 3 meses e a temperaturas médias diárias superiores a 0 °C. Além destes tratamentos, atendendo às particularidades das areias em estudo, seria interessante observar os valores obtidos para areias removidas em ETAR onde a remoção do efluente fosse feita apenas na etapa de desarenação, e onde a presença de espinhas e escamas de peixe não fosse tão elevada. Seria igualmente interessante comparar com valores de areias sujeitas a tratamento em classificador com arejamento e lavagem de areias.

Segundo o catálogo da Huber Technology as areias removidas nas ETAR apresentam um teor de matéria seca relativamente baixo (40 % a 70 %) e perdas por calcinação relativamente altas (10 % a 80 %). Os equipamentos disponibilizados por esta marca, para o tratamento de areias, baseados em classificadores de areias com arejamento e lavagem das areias, apontam para teores de matéria seca superiores a 90 % e perdas por calcinação inferiores a 3 %. Este grau de tratamento, segundo esse catálogo, permite por um lado a redução dos custos de deposição e por outro em vez de um resíduo passa-se a ter um produto que pode ser reutilizado como material secundário. Uma vez que, apesar do contributo das areias removidas na obra de entrada, as areias removidas na ETAR de Sesimbra já apresentam um teor de matéria seca de 77 % e uma perda por calcinação de 11 %, seria bastante interessante observar os valores que se obteriam com a simples substituição do classificador de areias por um de tecnologia superior.

Além destas soluções existem muitas outras que, com o desenvolvimento da tecnologia e com os requisitos de qualidade cada vez mais exigentes, tendem a evoluir e a ser aperfeiçoadas, garantindo cada vez mais a qualidade destas areias e a redução dos riscos que a sua possível reutilização possa

apresentar. Quanto menor for a quantidade de matéria orgânica e o seu teor em água e quanto maior for a sua qualidade microbiológica, maior será a viabilidade destas areias serem reutilizadas e passarem a ser consideradas um produto.

Assegurado o manuseamento e aplicação das areias em termos de riscos para a saúde pública e para o ambiente, há que assegurar os requisitos técnicos específicos de cada uso equacionado, o que será feito nos pontos seguintes.

6.3. ATERRO SANITÁRIO

A reutilização das areias removidas nas ETAR está condicionada não só pelas suas características técnicas, mas também pelos critérios de admissão de resíduos estabelecidos no anexo III do Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio. Assim, para que as areias removidas na ETAR de Sesimbra possam ser usadas em substituição dos actuais materiais empregues no sistema de impermeabilização, como terras de cobertura diária dos resíduos e na selagem do aterro, é necessário em primeiro lugar que obedeçam aos critérios de admissão.

No Anexo VII ao presente trabalho encontram-se os critérios de admissão estabelecidos no referido Decreto-Lei, para o resíduo e para o eluato, para cada classe de aterro. Os resultados obtidos nas análises ao resíduo e ao eluato das areias removidas na ETAR de Sesimbra encontram-se igualmente presentes no mesmo anexo, facilitando assim o acompanhamento da interpretação dos resultados.

As areias em estudo, como já se referiu anteriormente, respeitam todos os critérios de admissão para aterros de resíduos não perigosos e, conseqüentemente, para aterros de resíduos perigosos. Pelo que, do ponto de vista dos critérios de admissão em aterro, as areias em estudo podem ser reutilizadas, sem restrições, nestas duas classes de aterro, nas diferentes aplicações referidas.

Quanto aos critérios para admissão dos resíduos em aterros para inertes, também já foi referido que estas areias apresentam quatro parâmetros que excedem os valores estabelecidos: percentagem de matéria orgânica ("Perda a 500°C-Perda a 105°C"), condutividade, carbono orgânico total (COT) e amónio. Para a reutilização das areias removidas na ETAR de Sesimbra em aterros para inertes é necessário que estes parâmetros sejam cumpridos. No ensaio II, o valor obtido para o COT, permite que este critério seja cumprido, o que possibilita a reutilização, ou a deposição caso se opte pela não valorização, das areias em estudo nesta classe de aterros.

A reutilização destas areias nas várias classes de aterro está ainda condicionada pelo cumprimento dos requisitos exigidos segundo a sua aplicação, não basta pois cumprir os critérios de admissão estabelecidos na legislação.

O emprego destas areias em aterro sanitário pressupõe a substituição dos materiais actualmente utilizados, pelas mesmas, em algumas aplicações, pelo que é necessário assegurar que vão continuar a ser garantidas todas as funções actualmente exercidas por esses materiais. A possibilidade de reutilização das areias nesta infra-estrutura, como referido anteriormente, engloba a sua aplicação: na camada drenante da barreira activa, constituinte do sistema de impermeabilização basal; como terras de cobertura diária dos resíduos; e na cobertura final do aterro como terras de regularização e camada drenante. Para cada aplicação são definidos requisitos tendo em conta a sua função, requisitos esses que se encontram sintetizados no Quadro 6.5.

Quadro 6.5 – Requisitos exigidos para cada aplicação em aterro sanitário (Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, LEVY e CABEÇAS, 2006 e KNOCHENMUS e WOJNAROWICZ, 1998).

Fase do Aterro	Aplicação	Requisitos	
		Tipo de Solo	K
Sistema de Impermeabilização Basal	Camada Drenante	Areia	$\geq 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$
Operação	Cobertura Diária dos Resíduos	-	$\geq 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$
Cobertura Final do Aterro	Terras de Regularização	-	$\geq 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$
	Camada Drenante	Areia	$\geq 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$

Na camada drenante do sistema de impermeabilização basal as areias a reutilizar podem substituir a fracção, com cerca de 20 cm, de material de granulometria fina a média, uma vez que apresentam uma granulometria semelhante à de uma areia corrente, como foi demonstrado no ponto 5.2.5. Como o próprio nome indica a camada drenante é para drenar/escoar as águas que chegam a esta parte do aterro, para serem posteriormente conduzidas para o exterior. Por este motivo o coeficiente de permeabilidade K desta camada deve ser, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, maior ou igual a 10^{-4} m.s^{-1} . O K das areias removidas na ETAR de Sesimbra é de $8,5 \times 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$, ou seja, superior ao estabelecido na legislação. Com o comprimento destes requisitos estas areias reúnem as características técnicas necessárias para substituir o material (areia corrente) actualmente utilizado nesta aplicação.

Para a cobertura diária dos resíduos não existem requisitos granulométricos embora sejam utilizados normalmente solos, na maioria provenientes do próprio aterro. Para esta aplicação o requisito essencial é o K , devendo ser semelhante ao K dos resíduos, de modo a assegurar que o escoamento das águas lixiviantes se faz no sentido vertical, em direcção à base do aterro onde está implementado o sistema de drenagem e recolha destas águas, assegurando que são conduzidas para o exterior. Se o K das terras de cobertura diária dos resíduos for inferior ao K dos resíduos, vai formar-se uma barreira ao escoamento e as águas vão procurar outros caminhos preferenciais para escoarem, o que pode dificultar a degradação dos resíduos e a própria operação de enchimento do aterro. Caso essas águas não sejam drenadas vão-se acumular em determinados pontos do aterro, criando pressões, podendo causar poluição difusa. Como foi referido anteriormente, o K dos resíduos varia entre 10^{-4} m.s^{-1} e 10^{-6} m.s^{-1} .

As areias removidas na ETAR de Sesimbra, tendo um **K** ligeiramente superior ao dos resíduos, constituem uma excelente alternativa aos materiais usados actualmente para este fim. A sua granulometria permite o fácil manuseamento e espalhamento sobre a camada diária de resíduos, e o seu **K** permite o escoamento das águas lixiviantes, de infiltração ou pluviais. Estas areias, pelas características já referidas, permitem ainda a drenagem do biogás que se forma pela decomposição da matéria orgânica, impedindo a sua acumulação, evitando pressões e possíveis explosões. Além disso, permite economizar o espaço que seria ocupado por estas areias em aterro, podendo ir até 10 % do volume total do aterro (o equivalente ao volume ocupado pelas terras de cobertura diária).

Na fase final do aterro é feita a selagem final onde se engloba a cobertura final do aterro. Uma das camadas dessa cobertura é constituída pelas chamadas terras de regularização, que não são mais que uma cobertura dos resíduos e um nivelamento da última camada com material semelhante ao utilizado na cobertura diária dos resíduos. As areias removidas na ETAR de Sesimbra, ao serem aplicáveis como terras de cobertura diária dos resíduos, também o são como terras de regularização da camada final do aterro.

A camada drenante da cobertura final do aterro, ao contrário da camada drenante do sistema de impermeabilização basal, deve ser constituída só por areia. Esta camada permite que as águas pluviais e de infiltração, provenientes das camadas superiores da cobertura final, escoem e não se acumulem à superfície, o que poderia criar uma pressão sobre os resíduos e causar infiltrações no aterro já selado. Por isso o material a usar nesta camada deve ter um **K** suficientemente elevado para permitir uma correcta drenagem, normalmente maior ou igual a 10^{-4} m.s^{-1} . As areias removidas na ETAR de Sesimbra cumprem estes requisitos, podendo ser usadas nesta aplicação.

Em suma, do ponto de vista dos requisitos técnicos exigidos aos materiais para estas aplicações em aterro sanitário, as areias removidas na ETAR de Sesimbra reúnem requisitos técnicos suficientes para serem reutilizadas, substituindo os materiais actualmente empregues.

Uma vez que a sua reutilização é viável em várias aplicações do aterro sanitário não faz sentido continuar a pagar-se pela sua deposição. Assim, a nível económico esta reutilização permite economizar o custo da deposição das areias em aterro e, no caso do aterro precisar de empréstimo de terras, permite ainda economizar o custo desse material. Caso esse material seja um material primário (terras, areia) permite não só economizar o custo monetário mas também o custo ambiental, uma vez que se está a contribuir para a preservação dos recursos naturais.

Depois de se verificar que as areias removidas na ETAR de Sesimbra cumprem todos os requisitos técnicos exigidos na construção e operação de um aterro sanitário, para as aplicações a que se destinam, é interessante comparar com o que está a ser exigido aos resíduos de construção e demolição (RCD), para a sua aplicação na cobertura de aterros destinados a resíduos. No diploma legal que estabelece o regime jurídico da gestão de RCD, já aprovado e a aguardar publicação, é referida a aplicação dos RCD na cobertura de aterros destinados a resíduos desde que não

tenham substâncias perigosas. Além da ausência de substâncias perigosas nada mais é exigido aos RCD para que possam ser usados na aplicação já referida, aplicação essa que, segundo o mesmo documento, é dispensada de licenciamento.

Posto isto, e tendo o referido documento como referência, a demonstração feita neste trabalho é um passo à frente para a reutilização não só das areias removidas nas ETAR, em particular das areias removidas na ETAR de Sesimbra, mas também para a reutilização dos RDC para este fim. Os critérios e os requisitos técnicos aqui abordados, para os quais foi comprovado que as areias em estudo os satisfazem, devem ser tidos em consideração também para a reutilização dos RDC.

6.4. ALMOFADAS DE ASSENTAMENTO

Os materiais usados como almofada de assentamento são, sempre que possível, os materiais provenientes da própria vala. No caso de não ser possível utilizar o material da própria vala recorre-se a areia ou gravilha, como estabelecido no Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto. Talvez por isso não tenha havido a necessidade de desenvolver normas que estabeleçam as características dos materiais a aplicar nas almofadas de assentamento. Contudo, embora não existam normas para os materiais a utilizar, há que assegurar certos requisitos de modo a que a almofada de assentamento satisfaça as funções pelas quais é aplicada.

Tendo em conta que a almofada de assentamento é a camada que permite assentar a tubagem sem correr o risco que esta se danifique quando se faz posteriormente a compactação, é necessário assegurar que o material que a constitui esteja isento de partículas ou materiais que possam danificar a tubagem aquando da compactação, como por exemplo pedras com arestas pontiagudas. Além disso, o Decreto Regulamentar acima referido estabelece que o material usado nas almofadas de assentamento deve ser areia, gravilha ou material similar, e a máxima dimensão (D) não pode ser superior a 20 mm.

As areias removidas na ETAR de Sesimbra, com uma granulometria semelhante à de uma areia corrente e com a máxima dimensão do agregado de 4,75 mm, cumprem os requisitos exigidos para este tipo de aplicação.

Não é estabelecido ou recomendado nenhum valor para o teor em matéria orgânica, nem para a qualidade sanitária a que as areias destinadas a este fim devem obedecer. Se estes requisitos não são de grande importância quando a sua aplicação é em almofadas de assentamento de tubagens de água residual, o mesmo não se passa quando são aplicadas em almofadas de assentamento de tubagens de água de abastecimento. À parte dos riscos associados à possibilidade de contaminação da água de abastecimento, a presença de matéria orgânica nas areias, não apresenta, para este fim, especial relevância uma vez que as areias ficam enterradas. Convém no entanto assegurar que não apresentam detritos orgânicos de grandes dimensões, pois a sua decomposição cria vazios,

provocando assentamentos no solo que, no caso da tubagem ser de fibrocimento, betão ou outro material rígido, pode provocar a sua ruptura ou mesmo colapso.

Caso estas areias sejam reutilizadas em almofadas de assentamento para tubagens de água potável, há que assegurar que não existe risco de contaminação da água no caso de rotura da conduta ou infiltrações. Devido à proveniência destas areias e à importância de assegurar que a qualidade da água de abastecimento não é afectada, pode ser necessário fazer uma pré-esterilização das areias, antes de as aplicar como almofada de assentamento.

A reutilização destas areias em almofadas de assentamento, embora viável do ponto de vista dos requisitos granulométricos, pode não o ser do ponto de vista económico. Depende do custo do transporte entre a ETAR onde são removidas as areias e a obra onde estas irão ser aplicadas, pelo que exige uma análise de viabilidade para cada caso em particular.

6.5. ESTRADAS: TERRAPLENAGENS E PAVIMENTAÇÃO

Como foi descrito no ponto 1.6.2.3, as areias são um dos materiais empregues na construção de estradas, tanto na construção de aterros como nas diferentes camadas de pavimentação. Contudo, a qualidade exigida varia conforme a sua aplicação. Os materiais a aplicar nas diferentes camadas de pavimentação são, em geral, melhores do que os a aplicar nas diferentes zonas de aterro. Além disso, à medida que vão sendo construídas as diferentes zonas de aterro e as camadas de pavimentação, os requisitos tendem a ser mais exigentes.

Na fase de terraplenagem, quando é necessária a construção de aterro, normalmente este é feito com material resultante da própria escavação. Mas, muitas vezes o material escavado não é suficiente, pelo que se recorre a empréstimo de terras. Tanto o material escavado como o material de empréstimo têm de obedecer às características que constam no caderno de encargos da obra.

Para a construção dos aterros os cadernos de encargos não são muito exigentes com o material a aplicar. A nível geral é exigido que os materiais sejam preferencialmente não plásticos ou com um índice de plasticidade inferior a 50 %, e que estejam isentos de detritos orgânicos em geral (folhas, raízes, turfa, etc.).

Embora não tenha sido determinado o índice de plasticidade das areias removidas na ETAR de Sesimbra, tendo em conta que, segundo WRIGHT e DIXON (2004), as areias são um tipo de solo de granulometria grossa, com pouca ou nenhuma coesão, e que, pelos resultados granulométricos e do índice de permeabilidade das areias em estudo, estamos perante uma areia grossa, é razoável admitir que estamos perante um material com um índice de plasticidade bastante baixo.

Quanto aos detritos orgânicos, devido à proximidade do mar e às actividades pesqueiras e recreativas, as areias da ETAR de Sesimbra apresentam bastantes espinhas e escamas de peixe. Outros detritos orgânicos de dimensões consideráveis não foram observados embora, tratando-se de areias provenientes do tratamento de águas residuais urbanas, podem eventualmente estar presentes. Dada a dimensão granulométrica destas areias, a remoção das espinhas, escamas ou outros detritos que possam estar presentes (cotonetes, beatas, etc.), pode ser feita por simples crivagem do material. Este método bastante simples permite eliminar os detritos de maiores dimensões que possam, eventualmente, por em causa a reutilização destas areias.

Segundo o caderno de encargos (CE) da obra de aterro considerado no ponto 1.6.2.3, as areias removidas na ETAR de Sesimbra que correspondem granulometricamente a uma areia mal graduada (SP), tendo em conta a classificação unificada de solos (ASTM D 2487-85), pertencem à classe S3 e podem ser aplicadas na parte inferior do aterro, no corpo do aterro e na parte superior do aterro (Anexo I).

Nesse mesmo caderno de encargos o solo é definido, granulometricamente, como os materiais que apresentam menos de 30 % de material retido no peneiro ASTM de 19 mm (3/4"). Pela análise granulométrica, em que passa 100% no peneiro ASTM de 9,5 mm (3/8"), verifica-se que, à luz deste critério, as areias removidas na ETAR de Sesimbra são um solo.

Seria interessante verificar qual a classificação do solo para usos rodoviários calculando o índice de grupo, com base na especificação do LNEC E240-1970. Contudo, uma vez que não foi determinado o limite de liquidez e o índice de plasticidade, não é possível proceder a essa classificação.

Ainda no CE já referido, além dos requisitos gerais já mencionados, são estabelecidos requisitos específicos para os materiais a empregar em cada zona do aterro (Quadro 1.20). Embora a nível geral seja exigido que os materiais devem estar isentos de detritos orgânicos, apenas é estabelecido que os materiais a empregar no leito do pavimento não podem ter nenhuma matéria orgânica.

As areias removidas na ETAR de Sesimbra obedecem aos requisitos exigidos no Quadro 1.20 para a parte inferior do aterro (PIA). São um material com uma permeabilidade elevada, permitindo uma boa drenagem, logo pouco sensível à água. Além disso, como se viu anteriormente, pertencem à classe S3 definida no CE e apresentam apenas 0,2 % de material passado no peneiro ASTM n.º 200.

Quanto à aplicação no corpo do aterro, tendo em conta que a máxima dimensão do agregado é de 4,75 mm, no mínimo a espessura da camada teria de ser de 7,125 mm para cumprir o requisito. Ora, a espessura da camada correspondente ao corpo do aterro é muito superior a esse valor, pelo que as areias removidas na ETAR de Sesimbra satisfazem claramente este requisito.

Para a parte superior do aterro (PSA), a nível granulométrico, estas areias podem ser incorporadas na composição de um solo que satisfaça simultaneamente as classes S2, S3, S4 e S5. Contudo, a nível de características geotécnicas teriam de ter sido feitos ensaios específicos para determinar essas propriedades.

No leito do pavimento os requisitos para os materiais a empregar são mais exigentes. As areias removidas na ETAR de Sesimbra respeitam a máxima dimensão do agregado e a percentagem de material passado no peneiro ASTM n.º 200, uma vez que os valores estabelecidos são, respectivamente, 75 mm e 20 %, e os resultados obtidos são, respectivamente, 4,75 mm e 0,2 %. Quanto a serem um solo de boa qualidade, à semelhança do exigido para a PSA, teriam de ter sido feitos ensaios que o comprovassem, o que não foi contemplado no âmbito do plano experimental deste trabalho.

Nesta zona do aterro é ainda exigido que a percentagem de matéria orgânica seja igual a zero. Uma vez que as areias removidas na ETAR de Sesimbra apresentam cerca de 11 % de teor em matéria orgânica, é necessário proceder à remoção dessa matéria orgânica para que possa ser viável a aplicação das areias no leito do pavimento.

Independentemente da zona do aterro, as areias removidas na ETAR de Sesimbra, cumprem todos os requisitos gerais e específicos que dependem da sua granulometria. Quanto aos requisitos relativos à presença de detritos orgânicos e de matéria orgânica há que aplicar um tratamento adequado a estas areias de modo a assegurar que são eliminados. As características geotécnicas devem ser analisadas de acordo com os métodos mais adequados, de forma a verificar se vão ao encontro dos requisitos exigidos para a sua reutilização nas diferentes zonas de aterro, em particular na PSA e no leito do pavimento.

Como referido anteriormente, os materiais a aplicar nas várias camadas de pavimento apresentam requisitos mais exigentes do que os a aplicar na construção dos aterros. Os materiais devem obedecer ao estabelecido no CE e, no caso de serem aplicados em betões para construção de estradas, misturas betuminosas ou ligantes hidráulicos, devem obedecer cumulativamente às normas em vigor.

A nível geral os requisitos exigidos são a boa qualidade dos materiais e estarem isentos de detritos, matéria orgânica ou qualquer outra substância nociva. Segundo o CE de pavimentação de uma estrada mencionado no ponto 1.6.2.3, estes materiais têm também de estar limpos, terem uma qualidade uniforme e serem duros. Nas várias camadas de pavimentação são usadas diversas dimensões nominais (d/D), nomeadamente 0/4 e 0/6 mm, onde se enquadram as areias removidas na ETAR de Sesimbra.

A boa qualidade dos materiais é um requisito muito vago e que nos direcciona para as suas características geotécnicas. Assim, do ponto de vista geotécnico nada se pode acrescentar ao que foi

anteriormente referido, uma vez que não foram realizados ensaios para determinação destas características.

Quanto à presença de detritos e matéria orgânica, a exigência para todas as camadas do pavimento, é que não exista qualquer detrito e que a percentagem de matéria orgânica seja zero. Por isso, para aplicar estas areias em qualquer das camadas do pavimento, há que assegurar à cabeça, por meio de tratamento adequado, a eliminação de qualquer detrito e de toda a matéria orgânica presente.

Além da isenção de detritos e matéria orgânica, é exigido que os materiais não contenham nenhuma substância nociva. Ora, para se poder determinar se existe ou não alguma dessas substâncias é necessário em primeiro lugar definir quais são. Sem saber que substâncias se devem procurar não é possível estabelecer um plano de análises adequado. Assim, para que se possa verificar se existe alguma substância nociva nestas areias, ou em quaisquer outras que se pretendam reutilizar, é necessário que sejam estabelecidas quais as substâncias que podem ser nocivas para as diferentes camadas do pavimento.

Do ponto de vista granulométrico, as areias removidas na ETAR de Sesimbra, comparativamente com materiais não convencionais empregues em usos rodoviários, nomeadamente com a “escória granulada” de alto forno, têm uma dimensão nominal muito semelhante. Estas areias, com uma dimensão nominal 0,212/4,750 mm, podem ser usadas em conjunto com outros solos, nas camadas de base e sub-base do pavimento. Esta granulometria permite ainda a aplicação em misturas betuminosas e hidráulicas, que constituem principalmente a camada de desgaste e regularização.

Embora do ponto de vista granulométrico a reutilização destas areias seja viável em todas as camadas do pavimento, têm de obedecer cumulativamente às restantes características do CE e das normas NP EN 12620:2003, NP EN 13043:2004 ou NP EN 13242:2005, conforme a aplicação. Os requisitos mencionados no CE e no anexo ZA de cada norma, vão muito além das características granulométricas do agregado e da presença de matéria orgânica. Mas, tendo em consideração os limites deste trabalho, não foi possível fazer uma verificação exaustiva de cada requisito. Contudo, uma vez que os requisitos exigidos aos agregados para que possam ser empregues em betões para construção de estradas e outros pavimentos, são os mesmos que os exigidos para o fabrico de betão (NP EN 12620:2003), será discutido no ponto seguinte a viabilidade de reutilização destas areias para este fim.

Para a reutilização das areias removidas nas ETAR na construção de estradas, para além da granulometria e do coeficiente de permeabilidade, devem ser verificadas as propriedades mais importantes dos agregados, nomeadamente: a dureza ou resistência ao desgaste, a durabilidade, a gravidade específica e absorção, a estabilidade química e a percentagem de matéria orgânica. No caso específico de aplicação destas areias em betões para construção de estradas e ligantes betuminosos e hidráulicos, devem ser verificadas todas as características relevantes identificadas no anexo ZA da respectiva norma.

6.6. CONSTRUÇÃO CIVIL: BETÃO E ARGAMASSAS

É devido à sua coesão e resistência que o betão serve como material de construção. Essas propriedades dependem da qualidade dos materiais empregues no seu fabrico. O betão, depois de secar, deverá ter a maior compacidade e estabilidade química possíveis, de modo a adquirir uma elevada resistência às forças exteriores e de meteorização.

Sendo 70 % a 80 % do volume do betão constituído por agregados, estes, pelas suas características, afectam profundamente o seu comportamento. Na composição do betão referida no ponto 1.6.2.4, por cada metro cúbico de betão fabricado, são utilizados 1 587 kg de agregados, dos quais 720 kg são areias.

Dada a importância dos agregados no fabrico de betão, a sua aplicação é condicionada pelas suas propriedades. A NP EN 12620:2003 estabelece os requisitos geométricos, físicos e químicos, a que o agregado tem de obedecer para que possa ser considerado apto para as aplicações nela descritas.

Tendo em consideração que este trabalho tem por objectivo avaliar a possibilidade de reutilização das areias removidas nas ETAR em diferentes usos, e que constitui uma primeira abordagem à possível utilização no fabrico de betão, não foram verificados exaustivamente todos os requisitos a que estas areias têm de obedecer para que sejam consideradas aptas para o fabrico de betão. Contudo, no caso das areias, todos os requisitos geométricos exigidos pela referida norma, são baseados na sua análise granulométrica. Como foi efectuada a análise granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra, é possível verificar se são cumpridos, ou não, todos os requisitos geométricos estabelecidos pela norma.

Para as areias, esta norma estabelece como requisitos geométricos: a dimensão do agregado, a sua granulometria, o teor em finos e a qualidade dos finos. Estes requisitos asseguram que, a nível geométrico, os agregados conferem ao betão o comportamento desejado. Cada requisito tem de ser analisado individualmente, tendo em consideração o disposto na norma e os resultados obtidos na análise granulométrica.

Como referido anteriormente, o agregado é designado com base na sua máxima dimensão (D) e na sua mínima dimensão (d). Actualmente, pela norma europeia em vigor, a máxima dimensão do agregado admite 15 %, em massa, de partículas com dimensão superior a D . Esta mesma norma não estabelece, para as areias, nenhuma percentagem, em massa, de partículas com dimensão inferior a d , indicando nos requisitos gerais para este tipo de agregado $d=0$. A nível de comercialização das areias os produtores estabelecem essa percentagem, indicando-a conjuntamente com as restantes características do produto.

Antes desta norma europeia, bastante recente tendo em conta a história do fabrico de betão, a dimensão do agregado era definida pelas especificações ASTM, segundo as quais são permitidas até 10 %, em massa, de partículas de dimensão superior a D , e até 5 %, em massa, de partículas de dimensão inferior a d . É pois natural que, uma vez que a norma europeia não estabelece uma percentagem para as partículas com dimensão inferior a d , a mínima dimensão do agregado seja na maior parte das vezes definida tendo por base este critério.

Assim, considerando as definições da NP EN 12620:2003, a máxima dimensão do agregado é 4,750 mm e a mínima dimensão do agregado é 0 mm ou 0,212 mm, dependendo se consideramos que pode ou não existir até 5 %, em massa, de partículas com dimensão inferior a d . A designação destas areias em termos de aberturas inferior e superior dos peneiros é, respectivamente, 0/4,750 mm ou 0,212/4,750 mm, conforme o d que se considere.

Com base na dimensão do agregado a norma estabelece ainda que a relação D/d não pode ser inferior a 0,25. Independentemente do d que se considere (0 ou 0,212 mm), a dimensão do agregado cumpre este requisito.

Estas dimensões, à luz das especificações ASTM, estão dentro dos limites granulométricos definidos para as areias. Contudo, a norma europeia estabelece que a máxima dimensão dos agregados, para que sejam considerados areias, tem de ser menor ou igual a 4 mm. Esta discrepância deve-se às aberturas das malhas dos peneiros terem sofrido um ajuste quando transpostas das normas americanas para as europeias, com o objectivo de serem mais práticas. As dimensões do agregado passaram a ser feitas com base na abertura das malhas dos peneiros definidos nas normas europeias. A malha do peneiro que convencionalmente separa a areia do agregado grosso é de 4,750 mm nas normas americanas, enquanto nas normas europeias é de 4 mm.

Assim, pela NP EN 12620:2003, a máxima dimensão do agregado, determinada com os peneiros da série ASTM, não permite classificar granulometricamente as areias removidas na ETAR de Sesimbra como areias, uma vez que D é superior a 4 mm.

Embora no laboratório onde foi feita a análise granulométrica destas areias existissem apenas os peneiros cujas malhas obedecem às especificações ASTM, o que não engloba um peneiro com uma malha de 4 mm, é possível, por interpolação, estimar qual a percentagem de material passado acumulado num peneiro com uma malha de 4 mm. Tendo em conta as percentagens de material passado acumulado nos peneiros n.º 4 e n.º 8, obtidas na análise granulométrica, e a abertura das respectivas malhas, por interpolação, a percentagem de material passado acumulado num peneiro com uma malha de 4 mm de abertura é de 90,5 %.

Uma vez que a norma permite até 15 % de partículas de dimensão superior a D , ou seja, uma percentagem de material passado acumulado maior ou igual a 85 %, o valor obtido por interpolação, para a percentagem de material passado acumulado num peneiro com uma malha de 4 mm, permite

estabelecer 4 mm como a máxima dimensão das areias removidas na ETAR de Sesimbra. Assim, a dimensão destas areias pode ser definida como 0/4 mm ou 0,212/4 mm, conforme o d que se considere, que cumpre igualmente o requisito de D/d ser superior a 0,25. Esta designação, em conformidade com as dimensões europeias estabelecidas, permite: por um lado, que estas areias sejam enquadradas na definição de areias da NP EN 12620:2003, e por outro, a possibilidade de comparação com as dimensões dos agregados estabelecidas nos cadernos de encargos e em outras normas ou especificações nacionais e europeias.

Embora seja a NP EN 12620:2003, que estabelece a dimensão do agregado e como este deve ser designado, a título de curiosidade, pela especificação do LNEC E 355-1990, referente a classes granulométricas de agregados para argamassas e betões, as areias removidas na ETAR de Sesimbra pertencem à classe granulométrica 5/0,3 mm.

O segundo requisito normativo estabelecido, depois da dimensão do agregado, é a granulometria que, como referido no ponto 1.6.2.4, condiciona a compacidade do betão e portanto todas as propriedades deste material. Este requisito determina que a granulometria do agregado deve ser feita de acordo com a NP EN 933-1:2000 e, em função da dimensão do agregado, enquadrá-lo no respectivo tipo (agregado grosso, natural, de granulometria extensa ou areia) e estar conforme os requisitos gerais da granulometria especificados para esse mesmo tipo.

A dimensão do agregado a que correspondem as areias removidas na ETAR de Sesimbra, determina o seu enquadramento no tipo de agregado designado como “areia”. Para este tipo de agregado, os requisitos gerais da granulometria exigidos na norma, dizem respeito apenas à máxima dimensão do agregado e à percentagem de material passado acumulado nos peneiros com abertura de malha $2D$, $1,4D$ e D . Como a análise granulométrica foi feita usando os peneiros estabelecidos nas especificações ASTM, faz todo o sentido comparar os requisitos exigidos usando a máxima dimensão do agregado obtida directamente da análise granulométrica, ou seja, 4,75 mm. Caso os requisitos fossem analisados com base na máxima dimensão do agregado de acordo com a NP EN 12620:2003, a verificação do requisito estabelecido para a percentagem de material passado acumulado no peneiro $2D$ (8 mm) era automaticamente comprometida. Para este requisito é estabelecido que a percentagem de material passado acumulado, em massa, tem de ser 100. Uma vez que o valor dessa percentagem seria calculado por interpolação, com base no material passado nos peneiros de abertura 9,51 mm e 4,75mm, e que houve material retido neste último peneiro, a percentagem de material passado acumulado no peneiro de malha de 8 mm, calculada desta forma, é inferior a 100, logo não cumpre o requisito. Contudo, como a informação que se pode retirar da análise granulométrica efectuada às areias, é que 5,5% das partículas, em massa, têm dimensão superior a 4,75 mm e inferior a 9,51, não é possível verificar se entre as partículas retidas no peneiro n.º 4 existem ou não partículas com dimensão igual ou superior a 8 mm. Assim, no Quadro 6.6, são verificados os requisitos granulométricos exigidos pela norma europeia, com base na máxima dimensão do agregado obtida pela análise granulométrica, ou seja, 4,75 mm.

Quadro 6.6 – Verificação dos requisitos gerais da granulometria exigidos pela NP EN 12620:2003 para areias.

	Percentagem de Material Passado Acumulado, em massa		
	2 <i>D</i> (9,51 mm)	1,4 <i>D</i> (6,65 mm)	<i>D</i> (4,75 mm)
Valores estabelecidos pela norma	100	95 a 100	85 a 99
Análise Granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra	100	96,7 ⁽¹⁾	94,5
Verifica o requisito	Sim	Sim	Sim

⁽¹⁾ Valor obtido por interpolação.

As areias removidas na ETAR de Sesimbra verificam todos os requisitos gerais da granulometria estabelecidos pela norma, contudo o interesse da análise granulométrica destas areias no fabrico de betão vai muito além da verificação destes requisitos.

Enquanto a máxima e a mínima dimensão do agregado apenas permite conhecer as dimensões extremas do agregado, a análise granulométrica permite conhecer a distribuição das suas partículas pelas várias fracções granulométricas. Como a areia é incorporada no fabrico do betão para preencher os vazios deixados pelos agregados grossos, quanto mais heterogénea for a granulometria das areias, maior será o poder de encaixe das partículas e, conseqüentemente, menor o volume de vazios. Quanto menor o volume de vazios, maior a compacidade do betão, e quanto maior a compacidade do betão maior a resistência mecânica oferecida por este material. É pois essencial que a areia usada no fabrico de betão confira uma boa compacidade.

Para analisar se as areias removidas na ETAR de Sesimbra conferem, a nível de dimensão das partículas e da sua distribuição pelas diferentes fracções granulométricas, uma boa compacidade ao betão, estabelece-se em seguida a comparação entre a curva granulométrica obtida na análise granulométrica destas areias e de outras duas areias – uma areia de referência CEN e uma areia de rio. A areia de referência CEN usada para esta comparação, designada seguidamente apenas por areia CEN, é a areia definida na NP EN 196-1:2006, para a determinação das resistências mecânicas de cimentos, por ser uma areia normalizada que confere uma boa compacidade. A comparação com a curva granulométrica da areia de rio, cuja composição granulométrica é referida em RODRIGUES (2004), deve-se ao facto desta ter sido utilizada como matéria-prima no fabrico de várias argamassas, no âmbito da tese de doutoramento desenvolvida por este autor.

De modo a facilitar a análise visual das diferentes curvas granulométricas, optou-se por não incluir no mesmo gráfico a curva granulométrica correspondente à areia de rio e à areia CEN. Assim, a curva granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra será primeiro comparada com a curva da areia CEN, seguindo-se posteriormente a comparação com a areia de rio.

A composição granulométrica da areia CEN admite, para cada peneiro, que haja uma pequena variação (a mais e a menos) da percentagem de material retido acumulado. Na Figura 6.4 está representada a curva granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra, a curva granulométrica da areia CEN e as duas curvas que delimitam, superior e inferiormente, as variações admissíveis para essa mesma areia.

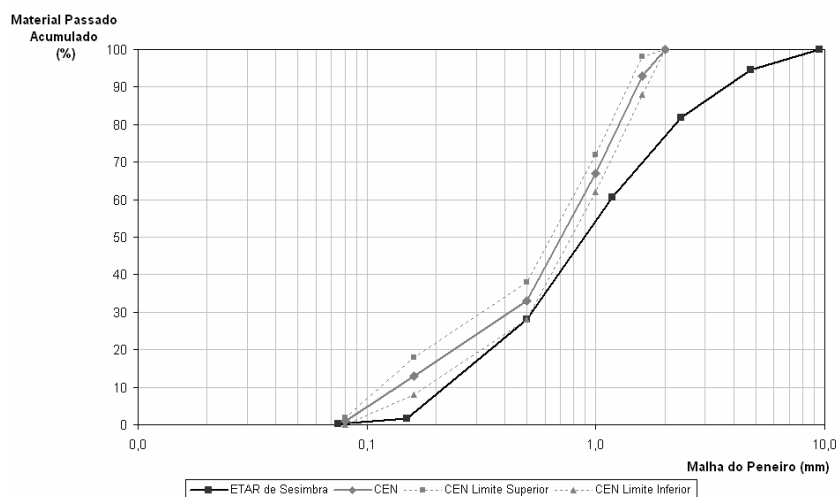


Figura 6.4 – Curvas granulométricas da areia removida na ETAR de Sesimbra e da areia de referência CEN.

Analisando as curvas granulométricas referentes às areias removidas na ETAR de Sesimbra e à areia CEN, em geral, o comportamento da curva é semelhante, descrevendo a forma de um “S”. Este comportamento, segundo COELHO (1996), é típico de solos bem graduados pois, no caso de solos de grão uniforme, em vez da curva granulométrica descrever a forma de um “S”, esta é representada por uma linha vertical. Segundo o mesmo autor se o coeficiente de uniformidade (C_u) for inferior a 2, o solo tem uma granulometria uniforme. No ponto 5.2.5 foi calculado o C_u das areias removidas na ETAR de Sesimbra, tendo-se obtido 4 para este coeficiente. Está-se pois perante areias bem graduadas com uma granulometria não uniforme o que, no caso da areia CEN, pelo exposto anteriormente, era expectável. O facto da curva granulométrica das areias da ETAR de Sesimbra ter este desenvolvimento, para a reutilização no fabrico de betão que se está presentemente a avaliar, é bastante vantajoso, uma vez que os agregados a empregar, como já foi referido, devem conferir ao betão a maior compacidade possível, o que não é possível se o agregado tiver uma granulometria uniforme.

A maior diferença entre a granulometria destas duas areias é que as areias da ETAR de Sesimbra apresentam mais de 20 %, em massa, de partículas com dimensão superior a 2 mm, que é a máxima dimensão da areia CEN. Enquanto no peneiro de 2 mm passam 100 % das partículas da areia CEN, no peneiro de 2,360 mm só passam cerca de 82 % das partículas das areias removidas na ETAR de Sesimbra. Mas, para as dimensões de 1,18 e 0,5 mm, as percentagens de material passado

acumulado nas duas areias são idênticas, em particular se considerarmos a curva granulométrica da areia CEN correspondente ao limite inferior. Contudo, na dimensão correspondente a 0,150 mm as duas curvas afastam-se ligeiramente, para voltarem a aproximar-se na dimensão correspondente a 0,075 mm.

Embora a curva granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra não seja totalmente coincidente com a curva granulométrica da areia CEN, a aproximação que se verifica da primeira em relação à segunda, é bastante satisfatória, tendo em conta que a areia CEN é uma areia normalizada. Em suma, as areias removidas na ETAR de Sesimbra apresentam cerca de 20 % de partículas com dimensão superior a 2 mm e, comparativamente à areia CEN têm: uma percentagem idêntica de partículas com dimensões entre 1,18 e 0,5 mm e de partículas com dimensões inferiores a 0,075 mm; uma percentagem superior de partículas com dimensões entre 0,5 e 0,15 mm; e uma percentagem inferior de partículas com dimensões entre 0,15 e 0,075 mm.

Para que a curva granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra se aproximasse mais da curva da areia CEN, excluindo o facto de logo no início terem de ser excluídas todas as partículas de dimensão igual ou superior a 2 mm, era necessário reduzir a percentagem de partículas de dimensão igual ou superior a 1,18 mm, de modo a aumentar a percentagem de material passado acumulado nos peneiros n.º 4, 8 e 16. Além disso, era necessário reduzir ligeiramente a percentagem de partículas com dimensão entre 0,5 e 0,15 mm e aumentar um pouco a percentagem de partículas com dimensão entre 0,15 e 0,075 mm, para que a percentagem de material passado acumulado no peneiro n.º 100 aumentasse, aproximando-se da curva da areia CEN.

Apesar da distribuição das partículas pelas diferentes fracções granulométricas apresentar algumas diferenças significativas entre estas duas areias, a composição granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra é bastante interessante para o fabrico de betão. A sua granulometria pode ser corrigida ou melhorada, nomeadamente a correcção das fracções granulométricas que diferem da areia CEN, por mistura com outro(s) agregado(s) de granulometria complementar. Contudo, há que referir que a composição da areia CEN é apenas uma composição de referência, que confere uma boa compacidade para o fim a que se destina. Muitas outras areias, com composições granulométricas diferentes, também conferem boa compacidade ao betão, podendo até ser usadas preferencialmente.

Na Figura 6.5 é representada a curva granulométrica da areia de rio e a curva granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

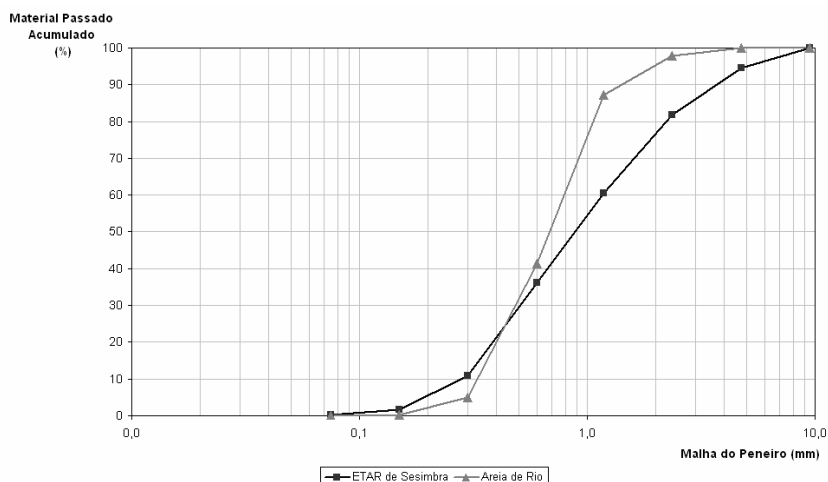


Figura 6.5 – Curvas granulométricas da areia removida na ETAR de Sesimbra e da areia de Rio.

O desenvolvimento destas duas curvas granulométricas é, em geral, bastante semelhante, descrevendo igualmente a forma de “S”. No entanto a areia de rio apresenta uma percentagem, em massa, de material passado acumulado no peneiro de 4,75 mm de 100 % ao passo que as areias removidas na ETAR de Sesimbra apresentam 94,5 %. A areia de rio tem uma pequena percentagem de partículas com dimensão superior a 2,36 mm, cerca de 2,2 %, o que contrasta com os 18,1 % das areias removidas na ETAR de Sesimbra. Essa diferença é ainda maior se compararmos a percentagem de partículas com dimensão igual ou superior a 1,18 mm que, no caso da areia de rio é de 12,7 % e no caso das areias removidas na ETAR de Sesimbra é de 39,4 %. Contudo, a percentagem de partículas de dimensão inferior a 0,6 mm é bastante idêntica nas duas areias, embora a sua distribuição pelas fracções granulométricas inferiores seja diferente. A areia de rio apresenta uma percentagem de partículas de dimensão inferior a 0,3 mm significativamente inferior à das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

Comparando estas duas curvas verifica-se que, até ao peneiro de 1,18 mm, a distribuição das partículas ao longo das diferentes fracções granulométricas é mais suave no caso da areia de rio, e mais acentuada no caso das areias removidas na ETAR de Sesimbra. Contudo, entre os peneiros de 1,18 mm e de 0,18 mm, a distribuição das partículas é mais suave no caso das areias removidas na ETAR de Sesimbra, e mais acentuada no caso da areia de rio. De facto, cerca de 82,4 % da massa das partículas que constituem a areia de rio têm dimensões compreendidas entre 1,18 e 0,3 mm, e 46 % têm dimensões compreendidas entre 1,18 e 0,6 mm.

Analisando a distribuição das partículas que constituem estas duas areias pelas diferentes fracções granulométricas, verifica-se que as areias removidas na ETAR de Sesimbra apresentam uma distribuição mais equitativa pelas diferentes dimensões que a areia de rio, esta que é, como referido anteriormente, constituída maioritariamente por partículas cuja dimensão está compreendida entre 1,18 e 0,3 mm. Tendo em conta que para o fabrico de betão o agregado deve ter uma granulometria

continua, ou seja, as partículas distribuídas uniformemente por todas as fracções granulométricas, comparativamente, as areias removidas na ETAR de Sesimbra apresentam uma compacidade mais elevada.

Comparando as três curvas granulométricas, das três areias consideradas, verifica-se que as areias removidas na ETAR de Sesimbra embora não apresentem uma distribuição ideal das partículas pelas diferentes fracções granulométricas, tem uma curva granulométrica bastante interessante do ponto de vista de aplicação no fabrico de betão. Com o intuito de melhorar granulometricamente estas areias, deve ser reduzida a percentagem de partículas de dimensão superior a 1,18 mm e aumentar a percentagem de partículas de dimensões compreendidas entre 0,15 e 0,075 mm. Esta correcção pode ser facilmente conseguida pela mistura destas areias com outro(s) agregado(s) de granulometria complementar, de forma a obter uma distribuição o mais uniforme possível pelas diferentes fracções granulométricas, com o intuito de conferir uma boa compacidade ao betão.

Visto a compacidade ser uma característica tão importante no fabrico de betão, com base no Triângulo de Feret e nas curvas de igual compacidade por ele definidas (COUTINHO, 1999), conhecendo a percentagem de partículas do agregado inferior a 0,5 mm (28 %), a percentagem de partículas com dimensão entre 0,5 e 2 mm (47 %) e a percentagem de partículas com dimensão superior a 2 mm (25 %), é possível conhecer a sua compacidade que, no caso das areias removidas na ETAR de Sesimbra, assume um valor entre 0,575 e 0,600.

Considerando que a dimensão das partículas que constituem uma areia variam entre 0 a 4 mm (ou 4,75 mm nas especificações ASTM), analisando a curva granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra observa-se que mais de 80 % das partículas que constituem este agregado têm uma dimensão inferior a 2,36 mm, e 60 % das partículas tem uma dimensão inferior a 1,18 mm. Está-se pois perante um agregado com uma percentagem significativa de partículas de granulometria mais fina. Quanto mais para a esquerda estiver deslocada a curva granulométrica, maior é a percentagem de partículas finas que constituem o agregado.

Analisando ainda a percentagem de material retido em cada peneiro (Quadro 5.4), verifica-se que os peneiros com maior percentagem de material retido são os peneiros ASTM n.º 16 e n.º 30, com 21,3 % e 24,5 %, respectivamente. Isto significa que, cerca de 46 % das partículas, em massa, têm uma dimensão inferior a 2,36 mm e superior a 0,6 mm

A análise granulométrica, como referido no ponto 1.6.2.4, permite ainda determinar o módulo de finura (MF). Este parâmetro permite completar a informação dada pela dimensão do agregado, caracterizando o comportamento da curva granulométrica entre os dois extremos, reflectindo a dimensão média do agregado. O módulo de finura das areias removidas na ETAR de Sesimbra, obtido no ponto 5.2.3, é 3,1 ou 2,6, dependendo se é determinado de acordo com as especificações ASTM ou com as normas NP EN 12620:2003 e NP EN 13139:2005, respectivamente. Ambos os valores obtidos para o módulo de finura destas areias, em particular o obtido pela norma europeia, tal

como seria de esperar pelas curvas granulométricas, são idênticos ao módulo de finura da areia de rio (2,7). O módulo de finura da areia CEN foi calculado de acordo com as normas europeias acima referidas, e com base na composição granulométrica referida na NP EN 196-1:2006, obtendo-se por interpolação o material retido na série de peneiros definida. O MF da areia CEN é de 2,75, variando entre 2,5 para o limite inferior e 2,9 para o limite superior. Comparando os valores obtidos para o MF, determinado de acordo com as normas europeias, das areias removidas na ETAR de Sesimbra (2,6) e da areia CEN (2,75), verifica-se que são muito semelhantes.

Com base no MF, o anexo B da NP EN 12620:2003, permite definir de maneira mais precisa a finura das areias. Uma vez que os módulos de finura se encontram entre 2,4 e 4, o referido anexo estabelece que as areias removidas na ETAR de Sesimbra, a areia de rio e a areia CEN, são consideradas areias grossas, a que corresponde a designação CF.

O terceiro requisito geométrico requerido na NP EN 12620:2003 é o teor de finos. Conforme o exigido nesta norma, o teor de finos foi determinado com base na NP EN 933-1:2000. A importância deste parâmetro prende-se com o facto da presença de partículas finas diminuírem a resistência do betão ao desgaste, especialmente por abrasão. Embora a NP EN 12620:2003 estabeleça apenas que o teor de finos deve ser declarado pela categoria definida com base na percentagem, em massa, que passa no peneiro de 0,063 mm, não referindo nenhum valor limite para este parâmetro, a bibliografia, nomeadamente COUTINHO (1997₁), refere que esse valor deve ser inferior a 2 %. Uma vez que o teor em finos das areias removidas na ETAR de Sesimbra, obtido no ponto 5.2.4, é de 0,55 %, estas areias enquadram-se na categoria f_3 , e obedecem ao critério estabelecido na referida bibliografia. Isto significa que o teor de finos presentes nas areias em estudo, se empregues no fabrico de betão, não prejudica o seu comportamento final.

Tendo em conta que a percentagem de finos é a percentagem de partículas com dimensão inferior a 0,063 mm, deve ser calculada pelo quociente entre a massa de partículas que passa no peneiro n.º 230 (M_1-M_2) e a massa do provete (M_1), multiplicado por 100. A Equação 4.4, definida na NP EN 933-1:2000, adiciona à parcela (M_1-M_2) uma parcela “P”, que corresponde à massa do material retido no peneiro “cego”. Esta parcela leva a que o material retido nesse peneiro seja contabilizado novamente uma vez que, sendo inferior a 0,063 mm, já está incluído na parcela M_1-M_2 . Além disso, se forem usados peneiros entre o peneiro n.º 230 e o peneiro “cego”, como foi o caso da análise granulométrica realizada neste trabalho, a percentagem de material retido no peneiro “cego” pode não corresponder à totalidade das partículas de dimensão inferior a 0,063 mm, uma vez que podem ficar retidas partículas nos peneiros intermédios, as quais não são contabilizadas.

Como no ensaio realizado a massa das partículas retidas no peneiro “cego” não é quantificável devido à precisão da balança utilizada, o cálculo da percentagem de finos pela Equação 4.4, não contabiliza duas vezes as partículas retidas no peneiro “cego”, obtendo-se assim a percentagem de finos de acordo com a definição acima referida. Contudo, caso não se tivessem utilizado os peneiros

n.º 270, 325 e 400, o material retido no peneiro “cego” não seria zero. Neste caso, tendo em conta o material que ficaria retido no peneiro “cego”, ou seja, todas as partículas de dimensão inferior a 0,063 mm, o valor da percentagem de finos, calculado segundo a NP EN 933-1:2000, seria de 0,66 %. Sendo este valor inferior a 2 %, em nada altera o que foi referido quanto à percentagem de finos das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

O quarto requisito geométrico diz respeito à qualidade dos finos. Segundo a norma de agregados para betão, a acção prejudicial dos finos nas areias deve ser avaliada de acordo com o seu anexo D – avaliação dos finos. Segundo o disposto neste anexo, se a percentagem total de finos da areia for inferior a 3 %, como é o caso destas areias, os finos devem ser considerados não prejudiciais. Assim, de acordo com o estabelecido, os finos presentes nas areias removidas na ETAR de Sesimbra são considerados não prejudiciais para o fabrico de betão.

Verificados todos os requisitos geométricos estabelecidos na NP EN 12620:2003 para agregados para betão, e as características referidas na bibliografia, dependentes da análise granulométrica do agregado, apresenta-se no Quadro 6.7 um resumo de todos os resultados obtidos, bem como a análise de conformidade para cada parâmetro.

Quadro 6.7 – Verificação da conformidade dos requisitos geométricos e de outras características granulométricas das areias, essenciais para sua aplicação no fabrico do betão.

Parâmetro		Valores/ Características Exigidos/as	Valores/ Características das areias removidas na ETAR de Sesimbra	Análise de Conformidade
Dimensão do Agregado	D_{ASTM} $D_{NP\ EN\ 12620:2003}$	4,75 mm 4 mm	4,75 mm 4 mm	Conforme Conforme
	d_{ASTM} $d_{NP\ EN\ 12620:2003}$	0 mm 0 mm	0 mm 0 mm	Conforme Conforme
	d/D_{ASTM} $d/D_{NP\ EN\ 12620:2003}$	0/4,75 mm 0/4 mm	0/4,75 mm 0/4 mm	Conforme Conforme
	D/d NP EN 12620:2003	$\geq 1,4$	$\geq 18,9$	Conforme
	$2D$ $1,4D$ D	100% 95% a 100% 85% a 99%	100% 96,7% 94,5%	Conforme Conforme Conforme
Granulometria	Distribuição das partículas pelas diferentes fracções granulométricas	Distribuição uniforme pelas diferentes fracções	Distribuição não uniforme, mas bastante satisfatória	Conforme condicionada ⁽¹⁾
	MF_{ASTM} $MF_{NP\ EN\ 12620:2003}$	- -	3,1 2,6	N. A. ⁽²⁾
	Descrição da finura das areias	CF/MF/FF	CF (areias grossas)	N. A. ⁽²⁾
Teor de Finos	Categoria NP EN 12620:2003	$f_3, f_{10}, f_{16}, f_{22}, f_{Declarada}$ e f_{NR}	f_3	N. A. ⁽²⁾
	COUTINHO (1997,)	< 2%	0,55 %	Conforme
Qualidade dos Finos (finos não prejudiciais)		< 3%	0,55 %	Conforme

⁽¹⁾ Este parâmetro pode, e deve, ser melhorado, nomeadamente pela mistura de outras partículas de dimensões complementares.

⁽²⁾ Não aplicável.

Como se pode verificar pelos resultados obtidos, e resumidos no quadro anterior, as areias removidas na ETAR de Sesimbra obedecem a todos os requisitos geométricos estabelecidos na NP EN 12620:2003, independentemente se o critério utilizado na definição das malhas dos peneiros seja as especificações ASTM ou a norma europeia. Além disso verifica as características exigidas na bibliografia, que dependem da análise granulométrica do agregado, e referidas ao longo deste trabalho. Apenas a nível da distribuição das partículas pelas diferentes fracções granulométricas foram identificadas algumas lacunas que, não invalidando o emprego do agregado no fabrico de betão, podem facilmente ser corrigidas. Em suma, a composição granulométrica destas areias e as suas propriedades geométricas tornam-nas bastante atraentes para aplicação no fabrico de betão, incluindo o fabrico de betões para a construção de estradas e outros pavimentos.

Posto isto, há que lembrar que, apesar destas areias satisfazerem todas as propriedades geométricas requeridas pela respectiva norma, têm de ser verificados também todos os requisitos físicos e químicos nela estabelecidos. É portanto necessário aprofundar o estudo destas areias, nomeadamente a realização de ensaios com o objectivo de verificar a conformidade, ou não, com os restantes requisitos que não foram determinados no âmbito desta dissertação.

No entanto, dada a origem destas areias, são referidos na norma três requisitos químicos que merecem especial atenção: cloretos, sulfatos e substâncias orgânicas. Segundo COUTINHO (1997₁), o contacto dos agregados com a água do mar que contém sais em que predominam os cloretos e os sulfatos, pode afectar o teor destes sais nos agregados. Devido à localização da ETAR de Sesimbra e da proximidade ao mar de toda a rede de drenagem, o teor de cloretos e o teor de sulfatos devem ser determinados, de acordo com a NP EN 1744-1:2000, e estudada a sua interferência no comportamento do betão. A presença de cloretos nos agregados utilizados no fabrico de betão tem especial importância se forem empregues em betão armado, uma vez que promovem a oxidação das armaduras de aço, reduzindo a sua secção e enfraquecendo a estrutura. Já a presença de sulfatos, devido às reacções expansivas que tem com a alumina do cimento ou do agregado, pode levar à rotura do betão por expansão.

A presença de substâncias orgânicas nas areias em estudo tem origem nos detritos animais e vegetais arrastados com as águas residuais de onde são removidas. Esta matéria orgânica, composta essencialmente por húmus, não apresentando uma composição quimicamente constante, pode interferir na presa e no endurecimento do cimento, afectando a resistência inicial do betão e, em casos mais graves, a resistência final deste material. Além disso, a presença de matéria orgânica nos agregados incorporados no betão, com o tempo entra em decomposição e desaparece, aumentando o volume de vazios que por sua vez diminui a compacidade do betão. O facto da matéria orgânica poder interferir química e fisicamente com o betão torna essencial avaliar a sua presença e a sua composição. Nas areias removidas na ETAR de Sesimbra o teor de matéria orgânica determinado, cerca de 11 %, pode ser um pouco elevado para o seu uso no fabrico de betão pelo que, se se vier a verificar que é necessário, as areias devem ser submetidas a um tratamento adequado.

Devido à sua interferência com as propriedades do betão, na maioria das vezes é exigido que os agregados estejam isentos de matéria orgânica, para que possam ser empregues no fabrico deste material. Contudo, pela NP EN 12620:2003, é admitida a presença de matéria orgânica nos materiais empregues no fabrico de betão desde que, feita uma avaliação para determinar o efeito que a sua utilização produz no tempo de presa e na resistência à compressão do betão, segundo a NP EN 1744-1:2000, não provoquem: um aumento do tempo de presa da argamassa padrão superior a 120 minutos, e/ou uma diminuição da resistência à compressão da argamassa padrão superior a 20 % aos 28 dias. Assim, é de todo o interesse determinar a constituição da matéria orgânica presente, nomeadamente a presença de ácidos húmicos e fúlvicos, segundo o ensaio clorimétrico estabelecido na NP EN 1744-1:2000, quantificá-la e proceder à avaliação do efeito no tempo de presa e resistência à compressão do betão com ela fabricado.

Na análise feita às areias, de acordo no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio (Quadro 5.1 e Quadro 5.2), foram determinados os cloretos e os sulfatos. Contudo, conforme o disposto no Decreto-Lei acima referido, estes parâmetros foram determinados no eluato e não nas areias, o que não permite quantificar estes parâmetros à luz do disposto na NP EN 1744-1:2000. Mas, embora não seja possível quantificar estes parâmetros nas areias, pelos resultados obtidos sobre o eluato, constata-se que estas areias apresentam cloretos e sulfatos, pelo que estes parâmetros deverão ser quantificados em futuros estudos.

Independentemente de serem verificados futuramente todos os requisitos (geométricos, físicos e químicos), deve ser avaliada a qualidade destas areias pela observação do comportamento do betão feito com as mesmas. Pois, segundo COUTINHO (1999), tem-se verificado que um agregado aparentemente inadequado relativamente a uma ou outra propriedade poderá conduzir a um betão de boa qualidade.

Depois do que foi descrito para avaliar a possibilidade de reutilização das areias removidas na ETAR de Sesimbra no fabrico de betão, e, tendo em conta que os requisitos exigidos aos agregados para o fabrico de argamassas são muito semelhantes, a avaliação da possibilidade de reutilização destas areias no fabrico de argamassas fica bastante simplificada.

Na NP EN 13139:2005, referente aos agregados para argamassas, são estabelecidos os requisitos geométricos, os requisitos físicos e os requisitos químicos a que os agregados devem obedecer, de forma a serem considerados aptos para o fabrico de argamassas.

A grande diferença entre os materiais empregues no fabrico de betão e no fabrico de argamassa, é que para o fabrico de argamassa são, em geral, devido à sua granulometria e às propriedades que lhe confere, apenas usados agregados finos, nomeadamente areias.

Dos requisitos exigidos às areias para fabrico de argamassas, à semelhança do que foi avaliado para o fabrico de betão, apenas serão avaliados os requisitos geométricos, a saber: a dimensão do agregado, a granulometria, a forma das partículas, o teor em conchas, o teor em finos e a qualidade dos finos.

Antes de avançar para a análise de cada requisito em particular, convém referir que as definições que constam na norma de agregados para betão são iguais às que constam na norma de agregados para argamassas, nomeadamente, a máxima e mínima dimensão do agregado, a designação do agregado, os limites estabelecidos para agregado grosso e agregado fino (areias), entre outras.

Para a dimensão do agregado, uma vez que a máxima dimensão, a mínima dimensão e a designação do agregado já foi discutida para o uso no fabrico de betão, e que as definições são idênticas, os valores para estes parâmetros são os mesmos. Como para o fabrico de argamassas são estabelecidas na respectiva norma dimensões preferenciais para o agregado, e que estas são definidas pelas normas europeias, a designação do agregado mais adequada é a que se baseia na abertura das malhas dos peneiros definidos pelas mesmas normas, que, no caso das areias removidas na ETAR de Sesimbra, é 0/4 mm. Esta dimensão do agregado corresponde a uma das dimensões preferenciais referidas. Assim, a nível de dimensões do agregado, as areias em estudo correspondem ao requerido para o fabrico de argamassas.

No segundo requisito geométrico a verificar – a granulometria – são estabelecidos limites de sobretamanhos e de subtamanhos. Estes limites são o equivalente aos requisitos gerais da granulometria definidos na norma de agregados para betão, sendo as percentagens de material passado acumulado admitido para $2D$, $1,4D$ e D , exactamente iguais (Quadro 6.6). A diferença é que nesta norma o agregado é definido em termos da sua dimensão. No caso das areias removidas na ETAR de Sesimbra, conforme verificado anteriormente, as percentagens de material passado acumulado respeitam os limites definidos para os agregados de dimensão 0/4 mm.

O facto de as areias removidas na ETAR de Sesimbra corresponderem a uma dimensão de 0/4 mm, leva a que não seja necessário verificar dois dos requisitos geométricos estabelecidos na norma: a forma das partículas e o teor de conchas. Quanto à forma das partículas é referido que os agregados com dimensão inferior a 4 mm, não influem no comportamento das argamassas. Já a determinação do teor em conchas, além de ser considerado um requisito excepcional, só é requerido para agregados de dimensão superior a 4 mm.

O terceiro requisito, teor de finos, é igualmente determinado de acordo com a NP EN 933-1:2000. Mas, se na NP EN 12620:2003 este valor apenas tinha de ser declarado utilizando a categoria correspondente, na NP EN 13139:2005 são estabelecidas categorias, às quais correspondem diferentes tipos de argamassas, e, para cada categoria, são estabelecidos limites para o teor de finos. O limite mais restritivo estabelecido para este parâmetro admite 3 % como a percentagem máxima de material passado acumulado no peneiro de 0,063 mm, em massa. Uma vez que o teor de finos das

areias removidas na ETAR de Sesimbra é de 0,55%, correspondendo a um valor bastante inferior ao limite mais restritivo, estas areias, a nível deste requisito, podem ser utilizadas no fabrico de qualquer argamassa referida nas diferentes categorias.

À semelhança do que foi referido para os agregados para betão, também para os agregados para argamassas, caso na análise granulométrica não tivessem sido utilizados os peneiros n.º 270, 325 e 400, e se tivesse calculado a percentagem de finos segundo a NP EN 933-1:2000, o facto de se obter um valor de 0,66 % em nada altera o que foi referido para este parâmetro na aplicação das areias em estudo no fabrico de argamassas.

O último requisito geométrico exigido às areias é a qualidade dos finos. Este requisito é determinado de acordo com o anexo C, que estabelece que no caso do teor de finos do agregado fino ser inferior a 3 %, os finos devem ser considerados não prejudiciais. Assim, de acordo com o estabelecido, os finos presentes nas areias removidas na ETAR de Sesimbra são considerados não prejudiciais para o fabrico de argamassas.

O anexo A da NP EN 13139:2005, equiparável ao anexo B da NP EN 12620:2003, estabelece uma descrição da finura dos agregados para argamassa com base no módulo de finura. Tendo em conta o valor para o módulo de finura das areias removidas na ETAR de Sesimbra, segundo o estabelecido neste anexo, estas correspondem a agregados finos de granulometria grossa, cuja designação é CF.

As areias removidas na ETAR de Sesimbra cumprem todos os requisitos geométricos estabelecidos na NP EN 13139:2005, para o fabrico de argamassas. Contudo, como referido anteriormente, é necessário que os requisitos físicos e químicos também sejam cumpridos. É necessário pois verificar a conformidade de todos os requisitos estabelecidos para poder avaliar se estas areias podem ou não ser reutilizadas para este fim.

Dos requisitos químicos exigidos, à semelhança do que foi referido para o betão, deve ter-se especial atenção com a presença de matéria orgânica, de cloretos e de sulfatos. A presença de cloretos nas argamassas pode contribuir para o aparecimento de eflorescências nas superfícies expostas, além disso, no caso de existirem metais embebidos na argamassa (p.e. elementos metálicos de suporte), podem originar a sua corrosão. Os sulfatos, devido à possibilidade de ocorrerem reacções expansivas, podem levar à desagregação da argamassa.

Nos agregados utilizados para o fabrico de argamassa, à semelhança dos utilizados para fabrico de betão, é muito importante avaliar a presença de substâncias orgânicas, estas que podem alterar o tempo de presa e a resistência da argamassa. O estabelecido na NP EN 13139:2005 para a avaliar a presença destas substâncias é similar ao estabelecido na NP EN 12620:2003, com as devidas adaptações.

Como referido para o betão, uma vez que se verificou a presença de matéria orgânica (11 %), cloretos e sulfatos nas areias removidas na ETAR de Sesimbra, é importante quantificar estes parâmetros e avaliar como podem interferir com o comportamento da argamassa. Isto deve ser tido em consideração no desenvolvimento de futuros trabalhos que pretendam estudar a incorporação destas areias no fabrico de argamassas.

Independentemente dos valores que venham a ser obtidos para os vários requisitos, à semelhança do que foi mencionado para o betão, seria interessante avaliar o comportamento de argamassas fabricadas com as areias da ETAR de Sesimbra, ou de outra ETAR. Por um lado para avaliar a qualidade das próprias areias e por outro para avaliar o comportamento das argamassas fabricadas com essas mesmas areias.

6.7. ASPECTOS A CONSIDERAR NA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

No desenvolvimento deste trabalho foram sendo referidas algumas vantagens técnicas, económicas e ambientais, que podem decorrer da reutilização das areias removidas nas ETAR. Foram também pontualmente referidas algumas situações em que a reutilização das areias pode não ser técnica ou economicamente viável. Neste ponto pretende-se apenas reunir esses apontamentos que foram feitos, fazendo uma análise muito breve do que pode ser importante assegurar, a nível técnico e económico, para a introdução das areias removidas nas ETAR no mercado. Não se pretende de todo fazer uma análise técnico-económica exaustiva, remetendo-se a realização desses estudos para trabalhos futuros.

A nível da reutilização das areias removidas na ETAR de Sesimbra, nas diferentes aplicações em aterro sanitário, estas satisfazem todos os requisitos técnicos exigidos aos materiais que se pretende substituir. Apresentam um coeficiente de permeabilidade e uma granulometria adequados aos diferentes usos, e a sua qualidade sanitária não condiciona a sua aplicabilidade para este fim. Apenas os operadores das entidades competentes lidam com estas areias, estando adequadamente protegidos com EPI, e o aterro sanitário é concebido de forma a evitar qualquer fonte de poluição que possa advir do confinamento dos resíduos em aterro. Deste modo, a reutilização destas areias em aterros sanitários para resíduos não perigosos e para resíduos perigosos, não exige qualquer tratamento adicional das mesmas, não envolvendo custos de tratamento.

A reutilização destas areias permite à entidade gestora do aterro sanitário economizar, por um lado, o custo com os materiais, e por outro, o volume ocupado pelas areias em aterro se estas fossem depositadas como resíduo. Tendo isto em consideração, não faz sentido pagar a taxa de deposição de resíduos em aterro, uma vez que não vão ser depositadas como resíduos, mas sim reutilizadas, apresentando vantagens económicas para o aterro. A isenção do pagamento desta taxa representa uma vantagem económica para a entidade gestora da ETAR, esta que pode investir o dinheiro

poupado, ou parte dele, em estudos e tecnologias que visem a melhoria da qualidade das areias removidas, tendo como objectivo a sua reutilização em fins mais nobres e mais lucrativos. A sinergia entre estas duas entidades permite, uma vez que as areias em estudo reúnem todos os requisitos técnicos, que ambas saiam beneficiadas técnica e economicamente, contribuindo ainda para a preservação dos recursos naturais.

No caso da reutilização destas areias em almofadas de assentamento, embora sejam também cumpridos os requisitos técnicos, existe uma preocupação com a qualidade sanitária destas areias. A sua reutilização nesta aplicação exige, não só o manuseamento por um maior número de trabalhadores, como a exposição do público em geral, uma vez que as areias antes de aplicadas são depositadas junto às valas, onde o acesso de pessoas exteriores à obra, embora condicionado, não é totalmente evitado. Assim, as areias a reutilizar têm de ser sujeitas a tratamento adequado, de modo a que a sua qualidade sanitária não constitua qualquer risco. Usando a qualidade microbiológica das lamas de classe B como referência observa-se que, pelos ensaios desenvolvidos neste trabalho, a simples desinfecção com hipoclorito de sódio garante uma redução dos coliformes fecais abaixo do valor exigido (2×10^6 NMP/g). Mas muitas outras soluções podem ser adoptadas, devendo ser feito um estudo da solução técnica e economicamente mais vantajosa. Ou seja, a solução que permita atingir a qualidade microbiológica necessária ao menor custo possível.

É necessário ter em atenção que o custo com o tratamento das areias não pode exceder o custo da sua deposição em aterro, isto considerando que as areias não são aceites nestas infra-estruturas a custo zero, como anteriormente foi admitido. Caso contrário, para a entidade gestora da ETAR não existe nenhuma vantagem em promover o tratamento das areias removidas. Mas, numa perspectiva mais empreendedora, assegurando os requisitos técnicos e a sua qualidade sanitária, pode ponderar-se a sua introdução no mercado, vendendo estas areias e obtendo assim uma fonte adicional de receitas. Para isso é necessário conquistar a confiança do consumidor e apresentar um preço competitivo. Seria interessante fazer um estudo de mercado para esta aplicação, analisando a procura para este tipo de uso e os preços praticados. Complementarmente, teria de ser determinado o custo do tratamento destas areias, tendo em conta a solução técnica e economicamente mais vantajosa, a fim de fazer um balanço económico para determinar as vantagens e os valores em jogo.

O que acabou de ser referido para a reutilização das areias removidas na ETAR de Sesimbra em almofadas de assentamento é válido para todas as outras aplicações equacionadas neste trabalho. A grande diferença é que, para as restantes aplicações estudadas, com excepção de algumas camadas utilizadas na construção de aterros em estradas na fase de terraplenagens, a qualidade exigida às areias é superior, sobretudo a nível do teor em matéria orgânica. Neste caso não basta assegurar uma redução de coliformes fecais, é necessário assegurar a eliminação da matéria orgânica presente. A viabilidade do tratamento destas areias e do investimento na melhoria das suas qualidades está fortemente dependente do seu valor comercial. Sendo que as areias são um recurso escasso e um dos materiais mais utilizados na construção civil, a valorização das areias removidas

nas ETAR, em particular na ETAR de Sesimbra, tendo em vista a sua reutilização pode ser bastante beneficiada.

Deve-se fazer um estudo de mercado para caracterizar a procura deste material a nível de construção civil e dos valores praticados. Por outro lado têm de ser estabelecidos critérios para que estas areias possam ser consideradas um produto e introduzidas no mercado, certificando a sua qualidade perante o consumidor. A par destes critérios têm de ser estudadas soluções de tratamento que assegurem o seu cumprimento, e analisado o custo de tratamento. Só assim se pode fazer uma análise técnico-económica da reutilização das areias removidas nas ETAR.

Em suma, o tratamento destas areias e a melhoria da sua qualidade só será potenciado se for demonstrado que existem vantagens económicas decorrentes da sua reutilização, seja pela eliminação do custo da sua deposição em aterro, seja numa perspectiva mais empreendedora, em que as areias são vendidas, auto-financiando o seu tratamento e constituindo uma fonte adicional de receitas. Além das vantagens económicas, e independentemente da aplicação, a reutilização destas areias constitui uma vantagem ambiental que não deve ser descurada.

7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Sendo a reutilização das areias removidas nas ETAR um tema pouco ou nada desenvolvido, este trabalho pretende contribuir para avaliar se estas areias podem ter, ou não, um potencial de reutilização que as torne num produto viável no mercado. Por forma a tornar as diferentes hipóteses mais consistentes foi escolhido um caso de estudo, pelo que as areias removidas na ETAR de Sesimbra são estudadas, em particular.

De uma forma geral, face aos resultados obtidos, conclui-se que as areias removidas na ETAR de Sesimbra apresentam características muito interessantes que podem viabilizar a sua reutilização nos vários usos equacionados.

A análise dos riscos inerentes ao manuseamento e aplicação das areias em estudo revela que, para os parâmetros analisados, apenas o parâmetro relativo aos coliformes fecais apresenta um valor superior ao desejável. Mas, mesmo para este parâmetro, a desinfecção com hipoclorito de sódio revelou-se suficiente, reduzindo, em todos os ensaios, os coliformes fecais abaixo do valor estabelecido nos E.U.A. para a qualidade microbiológica das lamas da classe B – lamas para valorização agrícola. Os resultados obtidos para os parâmetros analisados, por respeitarem os valores estabelecidos, permitem concluir que os riscos inerentes aos mesmos são mínimos ou mesmo inexistentes. Contudo, para se concluir que o manuseamento e aplicação das areias removidas na ETAR de Sesimbra não apresentam quaisquer riscos, quer para a saúde pública quer para o ambiente, há que analisar também os outros parâmetros estabelecidos na legislação consultada, ou estabelecer novos parâmetros que se revelem mais adequados.

Os resultados da análise granulométrica e do coeficiente de permeabilidade permitem concluir que as areias em estudo são semelhantes a uma areia grossa corrente. As conclusões que se podem retirar quanto à valia das características técnicas destas areias dependem do uso em que forem aplicadas, o que leva a que as conclusões tenham de ser feitas individualmente para cada uso equacionado.

Quanto à reutilização das areias removidas na ETAR de Sesimbra em aterro sanitário conclui-se que a sua aplicação é viável, seja no sistema de impermeabilização basal, como terras de cobertura diária dos resíduos ou na selagem final do aterro, uma vez que reúnem as características técnicas exigidas – granulometria e coeficiente de permeabilidade.

A reutilização das areias em estudo em almofadas de assentamento é igualmente viável, devendo ter-se em atenção a necessidade de reduzir os coliformes fecais e a matéria orgânica, principalmente se forem almofadas de assentamento para tubagens de água de abastecimento.

Na construção de aterros, na fase de terraplenagens da construção de estradas, estas areias podem ser aplicadas sem qualquer restrição na parte inferior do aterro e no corpo do aterro. Já para as restantes zonas do aterro e para as diferentes camadas do pavimento, têm de ser estudadas as

características geotécnicas e a qualidade do solo e garantir-se a redução do teor em matéria orgânica.

Para a utilização destas areias como agregados para o fabrico de betão e argamassas, conclui-se que apresentam todas as propriedades geométricas exigidas pelas normas em vigor. Além disso apresentam uma curva granulométrica muito interessante para estas aplicações. O teor e a composição da matéria orgânica, e a presença de cloretos e sulfatos, podem condicionar a aplicabilidade das areias removidas na ETAR de Sesimbra para estes fins. Pelo que deve ser estudada a sua influência nas características finais do betão e das argamassas, de modo a avaliar a necessidade de um tratamento complementar que reduza ou elimine a matéria orgânica, os cloretos e os sulfatos.

A nível das doses de hipoclorito de sódio e dos tempos de contacto ensaiados não foi possível chegar a nenhuma conclusão, uma vez que não se conseguiu estabelecer uma relação clara entre a redução de coliformes, COT e AOX, e as diferentes doses e tempos de contacto. No entanto conclui-se que, além da redução dos coliformes fecais, a desinfecção com o hipoclorito de sódio não conduziu ao aumento dos AOX, o que se receava devido à presença duma quantidade considerável de matéria orgânica.

O procedimento experimental definido para os ensaios com hipoclorito de sódio deveria ter contemplado, no mínimo, três amostras para cada ensaio. A triplicação das amostras para cada ensaio teria sido útil para confirmar os resultados, em particular os que suscitaram dúvidas, nomeadamente os resultados dos coliformes totais.

Conclui-se portanto que as areias removidas na ETAR de Sesimbra, reúnem requisitos suficientes para que a possibilidade da sua reutilização, em particular nos usos equacionados neste trabalho, continue a ser estudada e aprofundada, progredindo para a valorização deste subproduto e para a sua conversão em material secundário, indo ao encontro dos objectivos nacionais e internacionais em matéria de desempenho ambiental.

A nível de trabalhos futuros é necessário complementar e aprofundar o que já foi desenvolvido neste trabalho. Existem assim alguns trabalhos que devem ser realizados de modo a completar o que foi iniciado, para que se possa concluir se é ou não viável reutilizar as areias removidas na ETAR de Sesimbra, ou noutras ETAR, nos diferentes usos considerados.

Para que a valorização destas areias e a sua reutilização seja possível é necessário que sejam estabelecidos critérios de qualidade, por isso um dos trabalhos a desenvolver futuramente é a criação de normas mínimas de qualidade, que permitam avaliar quando é que este subproduto, depois de sujeito a tratamento adequado, deixa de ser um resíduo passando a ser um produto, um material ou uma substância secundária.

Devem ser realizados estudos com vários tratamentos complementares, ou mesmo pequenas melhorias nas actuais linhas de tratamento, que possam contribuir para o aumento da qualidade

destas areias, nomeadamente por redução do teor de matéria orgânica e dos coliformes presentes. Dentro dos vários tratamentos possíveis sugere-se em particular o tratamento térmico das areias, a sua exposição à luz solar durante determinados períodos de tempo e a desinfecção com hipoclorito de sódio.

Devido aos resultados obtidos neste trabalho com a desinfecção das areias removidas na ETAR de Sesimbra, devem ser realizados novos ensaios com mais doses e tempos de contacto, tendo o cuidado de efectuar, no mínimo, três amostras para cada ensaio. Seria interessante verificar se, com doses mais elevadas de hipoclorito de sódio, se consegue atingir uma qualidade tal que se possa comparar com a qualidade sanitária exigida às lamas de classe A nos E.U.A. Nestes ensaios devem ser sempre analisados também os AOX porque, um aumento significativo destes compostos, pode ter impactes consideráveis na linha de tratamento e na qualidade do efluente final.

De modo a completar a análise dos riscos de manuseamento e aplicação destas areias, efectuada neste trabalho, devem ser determinados em trabalhos futuros todos os parâmetros exigidos no Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho, e no Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, e ainda os coliformes totais e fecais.

A reutilização das areias removidas nas ETAR no fabrico de betão e argamassas deve ser estudada de uma forma mais pormenorizada. Além das propriedades geométricas devem ser estudadas as propriedades mecânicas e físicas, térmicas e de meteorização, e químicas das areias, respeitando os métodos estabelecidos nas respectivas normas. Este estudo deve ser complementado com estudos comparativos das propriedades do betão e das argamassas fabricados com estas areias brutas, com estas areias lavadas e com areias cujas características e comportamentos são conhecidos.

Devem ser realizados estudos onde se determine o índice de plasticidade e as características geotécnicas destas areias, para avaliar a possibilidade de as reutilizar nas diferentes zonas de aterro e de pavimentação de estradas.

Seria muito interessante estudar o impacto que a simples substituição do classificador de areias, por um com uma tecnologia mais avançada, pode ter na qualidade das areias removidas na ETAR de Sesimbra e em outras ETAR.

O estudo da influência da remoção das areias na obra de entrada e do contributo duma quantidade elevada de escamas e espinhas de peixe, seria importante para avaliar a melhor solução para aumentar a qualidade das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

Por último, é necessário realizar uma análise técnico-económica bastante detalhada, que contemple a viabilidade técnica, económica e ambiental destas areias, a sua qualidade, o seu valor comercial e o escoamento no mercado, tendo em conta a procura e a oferta e uma gestão consciente dos princípios da preservação e da utilização racional dos recursos naturais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Europeia do Ambiente (AEA), (2000). *Recursos hídricos na Europa: uma utilização sustentável?* Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga.
- Agência Europeia do Ambiente (AEA), (2003). *Os recursos hídricos da Europa: Uma avaliação baseada em indicadores*. Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga.
- Agência Europeia do Ambiente (AEA), (2005). *O ambiente na Europa – Situação e perspectivas 2005 – Sumário executivo*. Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga.
- ALVES, C., (2005). *Tratamento de Águas de Abastecimento*. Publindústria, Porto.
- AMARAL, L. M. M., (2006). *Apostamentos de Técnicas de Drenagem e Tratamento de Águas Residuais*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), (1985). *D2487-85 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. American Society for Testing and Materials, United States of America.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), (1987). *E11-04 Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes*. American Society for Testing and Materials, United States of America.
- ARCEIVALA, S., (1994). *Wastewater Treatment and Disposal Part 2*. UMI, Books on Demand, Michigan.
- BATISTA, J. M.; PÁSSARO, D. A.; SANTOS, R. F.; ALMEIDA, J.; NEVES, T.; SILVA, J. S; BORGES, S; RAMOS, R.; NUNES, M.; SILVA, J.; SIMAS, L., (2006₁). *Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal (2005), Volume 1 – Caracterização Geral*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos.
- BATISTA, J. M.; PÁSSARO, D. A.; SANTOS, R. F.; ALMEIDA, J.; NEVES, T.; SILVA, J. S; BORGES, S; RAMOS, R.; NUNES, M.; SILVA, J.; SIMAS, L., (2006₂). *Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal (2005), Volume 2 – Caracterização Económica e Financeira do Sector*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos.
- BRADY, G. S.; CLAUSER, H. R., (1977). *Material Handbook*, 11th Edition. McGraw-Hill.
- BRANCO, F. E. F., (1988₁). *Memória n.º 720 Uso Rodoviário de Alguns Subprodutos Industriais*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- BRANCO, F. E. F., (1988₂). *Memória n.º 700 A Geotecnia nas Vias de Comunicação*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

BRANDÃO, J.; ROSADO, C.; SÍLVA, C.; ALVES, C.; ALMEIDA, C.; CARROLA, C.; VERÍSSIMO, C.; NORONHA, G.; PARADA, H.; FALCÃO, L.; BARROSO, M.; RODRIGUES, R.; SABINO, R.; ROSADO, L., (2007). *Monitorização da qualidade das areias em zonas balneares*. Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Lisboa.

CARVALHO, M. F. N., (1999). *Estudo da Ocorrência de Compostos Orgânicos Halogenados em Águas de Abastecimento do Concelho de Beja*. Tese de Mestrado em Engenharia Sanitária, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

COELHO, S., (1996). *Tecnologia de Fundações*. E. P. Gustave Eiffel, Lisboa.

Comissão Europeia, (20051). *Avançar para uma utilização sustentável dos recursos: Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos*. Disponível em: <http://europa.eu/scadplus/leg/>, última modificação a 31-01-2006, consultado a 18-07-2007.

Comissão Europeia, (20052). *Proposta de directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa aos resíduos*. Disponível em: <http://europa.eu/scadplus/leg/>, última modificação a 31-01-2006, consultado a 18-07-2007.

Conselho da Europa, (1968). *Carta Europeia da Água*. Disponível em: <http://www.inag.pt>, consultado a 14-06-2007.

CORBITT, R. A., (1998). *Standard Handbook of Environmental Engineering*, 2nd Edition. McGraw-Hill.

COUTINHO, A. S., (1997₁). *Fabrico e Propriedades do Betão – Volume I*, 3ª Edição. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

COUTINHO, A. S., (1997₂). *Fabrico e Propriedades do Betão – Volume II*, 3ª Edição. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

COUTINHO, J. S., (1999). *Materiais de Construção I. Agregados para Argamassas e Betões*. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~jcouti/>, consultado a 17-06-2007.

CUNHA, L. V.; RIBEIRO, L.; OLIVEIRA, R. P.; NASCIMENTO, J., (2006). Capítulo 3: Recursos Hídricos. In *Alterações Climáticas em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação Projecto SIAM II*. Santos, F. D. e Miranda, P. (Eds). Gradiva, Lisboa.

DAVIS, M. L.; CORNWELL, D. A., (1998). *Introduction to Environmental Engineering*. 3rd Edition. McGraw-Hill, Singapore.

DIAS, J. A., (2004). *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos*. Universidade do Algarve, Faro.

DUARTE, L., (2007). “Simtejo detecta 670 descargas ilegais nas ribeiras da Grande Lisboa”, *Água & Ambiente*, n.º 99, Fevereiro, pp. 4-5.

FONSECA, M., (2007). “Défices tarifários das águas e dos resíduos somam 518 milhões de euros por ano”, *Água & Ambiente*, n.º 103, Junho, pp. 4-6.

GOMES, C., (2007). “Comporta e Alcácer do Sal descarregam efluentes no Sado”, *Água & Ambiente*, n.º 99, Fevereiro, pp. 31.

Instituto da Água (INAG), (2003). *A Água, a Terra e o Homem. Ciclo da Água*. Instituto da Água, Lisboa.

Instituto da Água (INAG), (2005). *Relatório Síntese sobre a Caracterização das Regiões Hidrográficas*. Instituto da Água, Lisboa.

IPQ, (1999). *NP EN 933-2:1999. Ensaaios para determinação das características geométricas dos agregados. Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas*, Ed. 1. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2000₁). *NP EN 932-1:2000. Ensaaios das propriedades gerais dos agregados. Parte 1: Métodos de amostragem*, Ed. 2. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2000₂). *NP EN 933-1:2000. Ensaaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração*, Ed. 1. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2000₃). *NP EN 1744-1:2000. Ensaaios para determinação das propriedades químicas dos agregados. Parte 1: Análise química*, Ed. 1. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2002). *NP EN 932-2:2002. Ensaaios das propriedades gerais dos agregados. Parte 2: Métodos de redução de amostras laboratoriais*, Ed. 1. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2003). *NP EN 12620:2003. Agregados para betão*, Ed. 1. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2004). *NP EN 13043:2004. Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação*, Ed. 1. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2005₁). *NP EN 13139:2005. Agregados para argamassas*, Ed. 1. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2005₂). *NP EN 13242:2005. Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária*, Ed. 1. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

IPQ, (2006). *NP EN 196-1:2006. Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*, Ed. 3. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

KNOCHENMUS, G.; WOJNAROWICZ, M., (1998). “Stability of municipal solid wastes”, *in Environmental Geotechnics*, Vol. 3, Pinto, P. S. S. (Ed), A. A. Balkema, Netherlands.

LEE, C. C.; LIN, S.D., (1999). *Handbook of Environmental Engineering Calculations*. McGraw-Hill, New York.

LENCASTRE, A.; FRANCO, F. M., (2003). *Lições de Hidrologia*, 3ª Edição. Fundação Armando Lencastre, Caparica.

- LEVY, J. Q.; CABEÇAS, A. J., (2006). *Resíduos Sólidos Urbanos – Princípios e Processos*. AEPSA.
- LNEC, (1959). *E 1-1959 Vocabulário de Estradas e Aeródromos*, 3ª Edição. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC, (1970). *E 233-1969 Agregados. Análise Granulométrica*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC, (1971). *E 240-1970 Solos. Classificação para fins rodoviários*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC, (1990). *E 355-1990 Inertes para argamassas de betões. Classes granulométricas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- MANO, A. P., (2005). *Apontamentos de Sistemas de Tratamento de Água e de Efluentes II – 2005/2006 Desinfecção*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica.
- MARTINHO, M. G., (2006). *Apontamentos de Gestão de Resíduos*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica.
- MENDES, A.; GOMES, F.; MENDES, P.; MARTINS, S.; SILVA, A.; GARCIA, D.; COSTA, D.; PEIXOTO, I.; TEIXEIRA, J.; MENDES, S.; TELÉSFORO, S.; SILVA, S., (2007). *Relatório do Estado do Abastecimento de água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais – Campanha INSAAR 2005*. Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais.
- METCALF & EDDY, (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, 4th Edition. McGraw-Hill, New York.
- METCALF & EDDY, (2006). *Water Reuse: issues, technologies, and applications*, 1st Edition. McGraw-Hill, New York.
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (MAOTD), (2007). Regime jurídico da gestão dos resíduos de construção e demolição, a aprovar.
- Proposta para o novo Regime Económico e Financeiro dos Recursos Hídricos (REFRH), (2006). Disponível em: http://aguainfo.no.sapo.pt/docs/pdl_ecf.pdf, acedido a 16-05-2007.
- QASIM, S. R., (1999). *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation*, 2nd Edition. CRC Press, United States of America.
- QUARESMA, L., (2006). *Apontamentos de Vias da Comunicação*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica.
- REGAN, R. W.; BATCHEV, E. S.; VOIGT, R. C., (1997). "Beneficial use of foundry excess systems sand for construction products", in *Proceedings of the 52nd Industrial Waste Conference*, 5-7 May, 1997, Purdue University, West Lafayette, Indiana, Purdue Research Foundation, Indiana, United States of America.

- RODRIGUES, M. P., (2004). *Argamassas de Revestimento para Alvenarias Antigas – Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- SANTANA, F., (2007₁). “Descargas ilegais ou negligência”, *Água & Ambiente*, n.º 99, Fevereiro, pp. 3.
- SANTANA, T., (2007₂). *Apontamentos de Mecânica dos Solos C. Capítulo 4 – Escoamentos em Maíolos Porosos*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica.
- SANTOS, M. C. J., (2001). *Contribuição para uma Metodologia de Gestão da Água com Base no Valor Económico – Aplicação ao Uso Agrícola*. Tese de Mestrado em Engenharia Sanitária, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- SIMÕES, A., (1955). *Classificação dos Solos*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B., (2000). *Organic Chemistry*, 7th Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- SOUSA, E. R., (2001). *Concepção dos Sistemas de Drenagem*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- SPELLMAN, F. R., (1999). *Spellman’s Standard Handbook for Wastewater Operators*, Vol. 1. Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania.
- WHITE, G. C., (1992). *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*, 3th Edition. Van Nostrand Reinhold, New York.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), (2003). *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1, Coastal and fresh waters*. World Health Organization, Geneva.
- WRIGHT, P. H.; DIXON, K. K., (2004). *Highway Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.

Outras Fontes

i. Legislação Consultada

Decisão n.º 2003/33/CE do Conselho, de 19 de Dezembro. Jornal Oficial L 11 de 16-01-2003, pp. 27-49.

Decreto-Lei n.º 45/94. D. R. I Série A. N.º 44 (22-02-1994). pp. 768-771.

Decreto-Lei n.º 46/94. D. R. I Série A. N.º 44 (22-02-1994). pp. 772-789.

Decreto-Lei n.º 207/94. D. R. I Série A. N.º 181 (06-08-1994). pp. 4491-4495.

Decreto-Lei n.º 152/97. D. R. I Série A. N.º 139 (19-06-1997). pp. 2959-2966.

Decreto-Lei n.º 239/97. D. R. I Série A. N.º 208 (09-09-1997). pp. 4775-4780.

Decreto-Lei n.º 236/98. D. R. I Série A. N.º 176 (01-08-1998). pp. 3676-3722.

Decreto-Lei n.º 348/98. D. R. I Série A. N.º 259 (09-11-1998). pp. 5982-5983.

Decreto-Lei n.º 262/99. D. R. I Série A. N.º 156 (07-07-1999). pp. 4232-4232.

Decreto-Lei n.º 172/2001. D. R. I Série A. N.º 122 (26-05-2001). pp. 3112-3113.

Decreto-Lei n.º 112/2002. D. R. I Série A. N.º 90 (17-04-2002). pp. 3724-3817.

Decreto-Lei n.º 152/2002. D. R. I Série A. N.º 119 (23-05-2002). pp. 4680-4699.

Decreto-Lei n.º 197/2003. D. R. I Série A. N.º 197 (27-08-2003). pp. 5656-5675.

Decreto-Lei n.º 149/2004. D. R. I Série A. N.º 145 (22-06-2004). pp. 3805-3809.

Decreto-Lei n.º 118/2006. D. R. I Série A. N.º 118 (21-06-2006). pp. 4380-4388.

Decreto-Lei n.º 178/2006. D. R. I Série A. N.º 171 (05-09-2006). pp. 6526-6545.

Decreto-Lei n.º 381/2007. D. R. 1ª Série. N.º 219 (14-11-2007). pp. 8440-8464.

Decreto Regulamentar n.º 23/95. D. R. I Série B. N.º 194 (23-08-1995). pp. 5284-5319.

Despacho Normativo n.º 14/2003. D. R. I Série B. N.º 62 (14-03-2003). pp. 1810-1812.

Despacho n.º 454/2006. D. R. II Série. N.º 6 (09-01-2006). pp. 276-283.

Despacho n.º 2339/2007. D. R. 2ª Série. N.º 32 (14-02-2007). pp. 3922-3964.

Directiva n.º 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991. Jornal Oficial L 135 de 30-05-1991, pp. 40-52.

Directiva n.º 91/689/CEE do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991. Jornal Oficial L 377 de 31-12-1991, pp. 20-27.

Directiva n.º 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999. Jornal Oficial L 182 de 16-07-1999, pp. 01-19.

Directiva n.º 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000. Jornal Oficial L 327 de 22-12-2000, pp. 1-73.

Directiva n.º 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006. Jornal Oficial L 114 de 27-04-2006, pp. 9-21.

Lei n.º 58/2005. D. R. I Série A. N.º 249 (29-12-2005). pp. 7280-7310.

Portaria n.º 209/2004. D. R. I Série B. N.º 53 (03-03-2003). pp. 1188-1206.

Portaria n.º 187/2007. D. R. 1ª Série. N.º 30 (12-02-2007). pp. 1045-1118.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005. D. R. I Série B. N.º 124 (30-06-2005). pp. 4059-4062.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 141/2005. D. R. I Série B. N.º 161 (23-08-2005). pp. 4857-4874.

ii. Outros Documentos

GOMES, T., (2007). *Memória Descritiva da ETAR de Sesimbra*. SIMARSUL, S. A., Setúbal.

QUARESMA, L., (2007). Caderno de Encargos de Pavimentação de uma obra rodoviária, 02-07-2007. (Comunicação Pessoal):

ROQUE, A., (2007). Caderno de Encargos de Terraplenagem de uma obra rodoviária, 02-08-2007. (Comunicação Pessoal)

SIMARSUL, S. A., (2001₁). *Manual de Instruções de Funcionamento da ETAR de Sesimbra*. SIMARSUL, S. A., Setúbal.

SIMARSUL, S. A., (2001₂). *Características Técnicas do Classificador de Areias da ETAR de Sesimbra*. SIMARSUL, S. A., Setúbal.

SIMARSUL, S. A., (2004). *Estudo Prévio – Volume 2 – Elementos Base*. SIMARSUL, S. A., Setúbal.

SIMARSUL, S. A., (2006). *Memória Descritiva e Justificativa da Empreitada de Concepção Construção da Reformulação e Beneficiação da ETAR de Sesimbra – Projecto Base*. SIMARSUL, S. A., Setúbal.

iii. Endereços Electrónicos consultados

Agência Portuguesa do Ambiente, 2007. *Agência Portuguesa do Ambiente*, URL: <http://www.iambiente.pt>, acedido a 31-08-2007.

Águas de Portugal, 2007. *AdP – Águas de Portugal*, URL: <http://www.adp.pt>, acedido a 16-11-2007.

Associação Portuguesa de Distribuição de Drenagem de Águas, 2007. *O Portal da Água*, URL: <http://www.apda.pt/>, acedido a 03-07-2007.

Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), 2007. *Defra –UK - Department for Environment, Food and Rural Affairs*, URL: <http://www.defra.gov.uk/>, acedido a 31-07-2007.

Environmental Protection Agency (EPA), 2007. *U. S. Environmental Protection Agency*, URL: <http://www.epa.gov/>, acedido a 31-07-2007.

EUR-Lex, Acesso ao direito da União Europeia, 2007. *EUR-Lex*, URL: <http://eur-lex.europa.eu/>, acedido a 17-09-2007.

Google Earth, 2007. *Google Earth*, URL: <http://earth.google.com/intl/pt/>, acedido a 23-09-2007.

Huber Technology – Hans Huber AG, Germany, 2007. *Huber Technology: Kompetenz in Edelstahl*, URL: <http://www.huber.de>, acedido a 24-09-2007.

Instituto da Água, 2007. *Entrada*, URL: <http://www.inag.pt>, acedido a 17-02-2008.

Instituto dos Resíduos, 2007. URL: <http://www.inresiduos.pt>, acedido a 23-05-2007.

Instituto Nacional de Estatística (INE), 2007. *Portal do Instituto Nacional de Estatística*, URL: <http://www.ine.pt>, acedido a 11-07-2007.

Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), 2007. *IRAR*, URL: <http://www.irar.pt>, acedido a 30-11-2007.

Interagua – Tecnologia e Gestão da Água, 2007. *Interagua – Tecnologia e Gestão da Água*, URL: <http://www.interagua.pt>, acedido 30-06-2007.

Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2007. *VROM – Internationaal – Homepage*, URL: <http://international.vrom.nl/>, acedido a 31-07-2007.

Portal da União Europeia, 2007. *The European Union On-Line*, URL: <http://europa.eu>, acedido a 18-07-2007.

United States Geological Survey, 2007. *USGS Georgia Water Science Center*, URL: <http://ga.water.usgs.gov>, acedido a 30-06-2007.

ANEXOS

ANEXO I

TIPOS DE SOLO PARA CONSTRUÇÃO DE ATERROS EM ESTRADAS

Quadro I.1 – Classes e tipos de solos aplicáveis na construção das diferentes zonas de aterro em estradas (ROQUE, 2007).

Classe	CBR (%)	Tipo de Solo	Descrição	Aplicação		
				PIA	Corpo	PSA
S 0	< 3	OL	Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade.	N	N	N
		OH	Argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; Siltes orgânicos.	N	P	N
		CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada; Argilas gordas.	N	P	N
		MH	Siltes inorgânicos; Areias finas micáceas; Siltes micáceos.	N	P	N
S 1	≥ 3 a < 5	OL	Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade.	N	S	N
		OH	Argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; Siltes orgânicos.	N	S	N
		CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada; Argilas gordas.	N	S	N
		MH	Siltes inorgânicos; Areias finas micáceas; Siltes micáceos.	N	S	N
S 2	≥ 5 a < 10	CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada; Argilas gordas.	N	S	N
		MH	Siltes inorgânicos; Areias finas micáceas; Siltes micáceos.	N	S	N
		CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média; Argilas com seixo, argilas arenosas, argilas siltosas e argilas magras.	S	S	P
		ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas; Areias finas, siltosas ou argilosas; Siltes argilosos de baixa plasticidade.	S	S	P
		SC	Areia argilosa; Areia argilosa com cascalho.	S	S	P
S 3	≥ 10 a < 20	SC	Areia argilosa; Areia argilosa com cascalho.	S	S	S
		SM _d SM _u	Areia siltosa; Areia siltosa.	S P	S S	S N
		SP	Areias mal graduadas; Areias mal graduadas com cascalho.	S	S	S
S 4	≥ 20 a < 40	SW	Areias bem graduadas; Areias bem graduadas com cascalho.	S	S	S
		GC	Cascalho argiloso; Cascalho argiloso com areia.	S	S	S
		GN-u	Cascalho siltoso; Cascalho siltoso com areia.	P	S	P
		GP	Cascalho mal graduado; Cascalho mal graduado com areia.	S	S	S
S 5	≥ 40	GM-d	Cascalho siltoso; Cascalho siltoso com areia.	S	S	S
		GP	Cascalho mal graduado; Cascalho mal graduado com areia.	S	S	S
		GW	Cascalho bem graduado; Cascalho bem graduado com areia.	S	S	S

S – Admissível; N – Não admissível; P – Possível.

ANEXO II

LICENÇA DE DESCARGA DA ETAR DE SESIMBRA



MINISTÉRIO DO AMBIENTE, ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
CCDR-LVT - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

LICENÇA DE DESCARGA DE ÁGUAS RESIDUAIS N.º 510/CM/DSAI/07

A presente licença, emitida nos termos do Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de Maio e mais legislação em vigor, é válida por 2 anos e consta do processo n.º 499/43CM/03 da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.

IDENTIFICAÇÃO

Titular da Licença: SIMARSUL - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, SA	Contribuinte: 506635562
Residência/Sede: Avenida Luísa Todi, 300 - 3.º 2900-452 Setúbal	
Finalidade: descarga de efluentes tratados produzidos por 30 000 hab eq. provenientes da ETAR de Sesimbra	
cujo meio receptor é o Mar, situado no local denominado por Porto Abrigo de Sesimbra, Freguesia de Sesimbra, Concelho de Sesimbra, Distrito de Setúbal, com as seguintes coordenadas do ponto de descarga M. P. da carta militar n.º à escala 1:25.000.	

CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

1ª A estação de tratamento de águas residuais é constituída por tamisador, desengordurador/desarenador, decantador primário, biofiltração em 2 estágios, desinfecção UV devendo estar executada de acordo com o projecto datado de ---;					
2ª As condições de descarga a respeitar pelo titular desta licença, são as seguintes:					
Parâmetro	Valor limite	Parâmetro	Valor limite	Parâmetro	Valor limite
Caudal	4435 m³/dia				
pH	6-9				
CBO5	25 mg/l				
CQO	125 mg/l				
SST	35 mg/l				
Nota: Valor Limite (excepto o caudal) - definido nos termos do Quadro I do Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho e Anexo XVIII do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto.					
3ª O auto-controlo a efectuar para os parâmetros definidos na 2ª condição geral desta licença deverá realizar-se nas seguintes condições:					
1- a frequência de amostragem deverá ser mensal; 2- a mostragem deverá ser composta; 3- o auto-controlo deverá ser efectuado por laboratório acreditado					
4ª O método analítico para cada parâmetro é definido nos termos do Anexo XXII do Decreto Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto;					
5ª As colheitas devem ser efectuadas numa caixa de visita adequada e construída a jusante do sistema;					
6ª Deve ser efectuada a instalação do medidor de caudal;					
7ª O titular desta licença obriga-se a enviar os boletins de análise à CCDR de Lisboa e Vale do Tejo com a periodicidade <u>semestral</u> ;					
8ª Outras condições a observar:					
- De salientar que, só com os resultados do controlo analítico a efectuar ao efluente final se poderá verificar se este cumpre as normas de descarga de águas residuais, pelo que deverá ficar prevista uma área para futura ampliação do sistema de tratamento caso os mesmos assim o exijam.					
- O incumprimento de qualquer condição da presente licença, nomeadamente a periodicidade do auto-controlo, constitui contra-ordenação nos termos do Art.º 81º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de Maio.					
- Deverão entregar os seguintes elementos no prazo de 6 meses: a) um plano monitorização do meio receptor aprovado pelo INAG; b) As normas provisórias de descarga de efluentes industriais na rede de colectores municipais. Deverá ser implementado no mais curto prazo o regulamento de descarga de águas residuais industriais em colectores municipais; c) Localização do emissário, à escala 1:25 000, e indicar as características físicas e técnicas do emissário, por forma a ser possível indicar as coordenadas (*) do ponto de descarga no meio receptor; d) procedimento de emergência por forma a minimizar os impactos no meio receptor de efluente sem a qualidade exigida neste documento.					
9ª Taxa de utilização: A definir nos termos previstos na Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro.					

CUSTO DA LICENÇA

- Taxa de utilização (a definir)	
- Imposto de Selo	€ 13,00
TOTAL	€ 13,00

Modelo 1

Lisboa, em 8 de Abril de 2007

O Presidente

António Fonseca Ferreira

[Assinatura]
Ana Lima Santos
Directora de Serviços

Figura II.1 – Licença de descarga da ETAR de Sesimbra.



MINISTÉRIO DO AMBIENTE, ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
CCDR-LVT - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

CONDIÇÕES GERAIS

- 1ª A estação de tratamento de águas residuais será somente utilizada para o tratamento das águas residuais caracterizadas no projecto, fim que não pode ser alterado sem prévia autorização destes Serviços;
- 2ª O titular da licença assume, no âmbito desta, a responsabilidade pela eficiência dos processos de tratamento e/ou dos procedimentos que adoptar com vista a minimizar os efeitos decorrentes da rejeição de águas residuais na linha de água, por forma a não provocar alteração da sua qualidade que ponha em risco os usos a jusante, pelo que fica condicionado ao cumprimento dos valores limite fixados nas condições especiais desta licença. O titular da licença obriga-se a manter a obra em bom estado de conservação e limpeza;
- 3ª O titular desta licença deve manter um registo actualizado dos valores do auto-controlo, para efeitos de inspecção ou fiscalização por parte das entidades competentes, sendo da responsabilidade do mesmo os encargos da instalação e a exploração do referido sistema;
- 4ª Qualquer anomalia ou acidente com influência nas condições de descarga de águas residuais deve ser comunicada à CCDR/LVT e ao serviço competente do ministério da tutela, nas 24 horas seguintes à ocorrência.
- 5ª O titular da licença deverá respeitar todas as leis e regulamentos aplicáveis e munir-se de todas as outras licenças que sejam exigíveis;
- 6ª O titular da licença deverá abster-se da prática de actos ou actividades que causem impactes negativos sobre o meio hídrico, ou que inviabilizem usos alternativos considerados prioritários;
- 7ª A licença só poderá ser transmitida mediante autorização da CCDR/LVT de acordo com o disposto no Art.º 26º do Dec. Lei n.º 226-A/2007 de 31 de Maio;
- 8ª A licença caduca com o decurso do prazo nela previsto bem como com a morte da pessoa singular ou extinção de pessoa colectiva titular da mesma ou com declaração de insolvência do titular nos termos do Art.º 33º do Dec. Lei n.º 226-A/2007 de 31 de Maio;
- 9ª A licença será objecto de revogação perante a não observância das condições nela impostas e nos demais casos previstos no Art.º 32º do D.L. n.º 226-A/2007 de 31 de Maio;
- 10ª As condições fixadas na presente licença poderão ser objecto de revisão quando se verifique alteração significativa das circunstâncias de facto existentes à data da sua outorga e nos demais casos previstos no Art.º 28º do Dec. Lei n.º 226-A/2007 de 31 de Maio;
- 11ª A licença poderá ser renovada, se o seu titular assim o requerer com a antecedência de seis meses antes do seu termo, nos termos do nº4 do art.º 34º do Dec. Lei n.º 226-A/2007 de 31 de Maio;
- 12ª As despesas com acções de fiscalização relativas à execução desta licença, serão suportadas pelo seu titular, sempre que se verifique o incumprimento das condições impostas;
- 13ª O objecto da licença fica sujeito à fiscalização de todas as autoridades com jurisdição no local, obrigando-se o titular da licença a facultar o livre acesso aos agentes dessas autoridades, por forma a que possam exercer cabalmente as suas funções.

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Aos 23 dias do mês de Agosto do ano de dois mil e sete e perante mim
representante da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo e na presença das testemunhas adiante mencionadas, compareceu _____ na qualidade de requerente/representante de
requerente, a quem entreguei a licença de descarga com o n.º _____ requerida em _____ que declarou ter tomado conhecimento das condições em que a referida licença lhe é concedida e que com as mesmas se conforma, obrigando-se a cumpri-las, em fé do que se lavra o presente termo de responsabilidade que, depois de lido e achado conforme, vai ser encerrado e assinado pelo representante da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo pelo titular e pelas testemunhas.

Selo pago por guias, nos termos dos n.º 3 e 12.5 do anexo III da lei 150/99 de 11 de Setembro.

O representante da CCDR/LVT _____

O titular da licença _____

As testemunhas _____

Figura II.1 (cont.) – Licença de descarga da ETAR de Sesimbra.

ANEXO III

CARACTERÍSTICAS DO CLASSIFICADOR DE AREIAS DA ETAR DE SESIMBRA

FOLHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Nº EQ 08

DESIGNAÇÃO: CLASSIFICADOR DE AREIAS

Localização	Obra de entrada
Serviço	Remoção de areias e sedimentos do efluente

FABRICO

- marca de referência S.P.ECO
- modelo DS 1000/S
- quantidade 1

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- caudal máximo (água + sólidos)..... 36,0 m³/h
- caudal pretendido (água + sólidos)..... 20,0 m³/h
- capacidade de remoção de sólidos..... 0,5 m³/h
- capacidade útil da cuba de decantação 710 litros
- comprimento do parafuso 3600 mm
- diâmetro do parafuso 280 mm
- espessura do parafuso 25 mm
- inclinação do parafuso 25°
- velocidade de rotação do parafuso 5 rpm
- ligações entrada / saída..... DN 100 / DN 150, PN10
- peso do conjunto..... 650 kg (aprox)

MOTOR DE ACCIONAMENTO

- tipo de redutor (ou similar)..... FRA85/FL35B5BI
- potência instalada 0,55 Kw
- tensão/frequência..... 380 V / 50 Hz
- classe de protecção mecânica IP 55
- classe de isolamento F

MATERIAIS

- cuba de decantação AISI 304
- parafuso aço especial
- suporte AISI 304
- protecção anti-corrosiva não necessita

Figura III.1 – Características técnicas do classificador de areias da ETAR de Sesimbra.

ANEXO IV

BOLETINS DAS ANÁLISES DAS AREIAS REMOVIDAS NA ETAR1 E NA ETAR2

15/03 2007 15:10 FAX

SIMARSUL

002

RELATORIO DE ENSAIOS

ETAR 1

Relatório nº:

Data de emissão: 27/11/2006

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Designação da amostra: Areias
 Código resíduo (se aplicável): -
 Verificação Nível (se aplicável): 1

Data de recepção da amostra: 27/09/2006
 Início da análise: 29/09/2006
 Fim da análise: 27/11/2006 Lote: -

RESULTADOS DA ANÁLISE

Aspecto*: Sólido

Cor*: Preto

Odor*: Pouco Intenso

RESÍDUO

ENSAIO	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO	UNIDADES
Perda 103-105°C	SMEWW - 2540 G.	17	(%m/m)
Perda 550°C*	SMEWW - 2540 G.	20	(%m/m)
Ponto de Inflamação**	DIN ISO 1516	>100	(°C)
Substâncias Lipofílicas**	DIN 38409	<0,088 (LQ)	(%m/m m.s.)
Compostos orgânicos voláteis halogenados**	DIN EN ISO 10301	<0,1 (LQ)	(mg/kg m.s.)
Comp. orgânicos voláteis não halogenados**	DIN 98407-9-2	<0,1 (LQ)	(mg/kg m.s.)
Arsênio*	SMEWW - 3120 B.	<26 (LQ)	(mg As/kg m.s.)
Cádmio*	SMEWW - 3120 B.	<4,3 (LQ)	(mg Cd/kg m.s.)
Cobre*	SMEWW - 3120 B.	16	(mg Cu/kg m.s.)
Crômio*	SMEWW - 3120 B.	46	(mg Cr/kg m.s.)
Mercurio*	Anal. Elementar (IE-19)	0,05	(mg/kg m.s.)
Níquel*	SMEWW - 3120 B.	<15 (LQ)	(mg Ni/kg m.s.)
Chumbo*	SMEWW - 3120 B.	<29 (LQ)	(mg Pb/kg m.s.)
Zinco*	SMEWW - 3120 B.	68	(mg Zn/kg m.s.)

m.s. - matéria seca

* Os ensaios assinalados com * não se encontram incluídos no âmbito da acreditação.

** Os ensaios assinalados com ** foram subcontratados a laboratório acreditado para o ensaio referido.

Nota: Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra. Os resultados referem-se exclusivamente à amostra ensaiada.

Pág 1/2

Figura IV.1 – Boletim de análise das areias removidas na ETAR1.

15/03 2007 15:11 FAX

SIMARSUL

003

RELATORIO DE ENSAIOS

ETAR 1

Relatório nº :
Data de emissão : 27/11/2006

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Designação da amostra : Areias
Código resíduo (se aplicável) : -
Verificação Nível (se aplicável) : 1Data de recepção da amostra : 27/09/2006
Início da análise : 29/09/2006
Fim da análise : 27/11/2006 Lote : -

RESULTADOS DA ANÁLISE (continuação)

AGUAS/ELUATO¹¹ Livivado filtrado obtido por pré-tratamento do resíduo de a cordo com a Norma DIN 38414-Parte 4: lamas e sedimentos (Grupo S).

A preparação do eluat o não se encontra incluída no âmbito da acreditação.

ENSAIO	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO	UNIDADES
pH	SMEWW - 4500 H B.	7,8 (23,2°C)	-
Condutividade	SMEWW - 2510 B.	427 (20,0°C)	(µS/cm)
Carbono orgânico total (TOC)**	ISO W035	6,1	(mg C/l)
Arsénio*	SMEWW - 3120 B.	<0,3 (LQ)	(mg As/l)
Cádmio*	SMEWW - 3120 B.	<0,05 (LQ)	(mg Cd/l)
Cobre*	SMEWW - 3120 B.	<0,14 (LQ)	(mg Cu/l)
Crômio VI*	SMEWW - 3500 - Cr B.	<0,01	mg/l
Crômio Total*	SMEWW - 3120 B.	<0,13 (LQ)	(mg Cr/l)
Mercurio*	Anal. Elementar (IE-19)	<0,02 (LQ)	(mg Hg/l)
Níquel*	SMEWW - 3120 B.	<0,18 (LQ)	(mg Ni/l)
Chumbo*	SMEWW - 3120 B.	<0,35 (LQ)	(mg Pb/l)
Zinco*	SMEWW - 3120 B.	<0,40 (LQ)	(mg Zn/l)
Fenóis	SMEWW - 5530 B.	<0,8	(mg C6H5OH/l)
Fluoretos*	SMEWW - 4500 - F C.	<1,0	(mg F/l)
Cloretos*	SMEWW - 4500 - Cl B.	1,4	(mg Cl/l)
Sulfatos*	SMEWW - 4500 SO4 A.	2,8X10 ²	(mg SO4/l)
Nitritos*	SMEWW - 4500 NO2 B.	3,3	(mg N-NO2/l)
Azoto Amoniacal*	SMEWW - 4500 NH3 B.	20	(mg N-NH3/l)
Cianetos*	SMEWW - 4500 CN E.	<0,2	(mg CN/l)
Compostos orgânicos halogenados (AOX)**	DIN EN 1485.8.2.2	0,04	(mg Cl/l)

OBSERVAÇÕES: SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

LQ - Limite de Quantificação do método.

Os resultados obtidos encontram-se abaixo do VMA (valor máximo admissível) constante do Decreto-lei n.º 152/2002, de 23 de Maio.

A recolha da amostra foi da responsabilidade do cliente.

O Responsável Técnico

* Os ensaios assinalados com * não se encontram incluídos no âmbito da acreditação.

** Os ensaios assinalados com ** foram subcontratados a laboratório acreditado para o ensaio referido.

Nota: Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra. Os resultados referem-se exclusivamente à amostra ensaiada.

Pág 2/2

Figura IV.1 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR1.

15/03 2007 15:12 FAX

SIMARSUL

005

RELATÓRIO DE ENSAIOS

ETAR 2

Relatório nº :

Data de emissão : 09.06.06

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Designação da amostra: Areias

Data de recepção da amostra: 07.04.06

Código resíduo (se aplicável) : -

Início da análise: 07.04.06

Verificação Nível (se aplicável) : 1

Fim da análise: 09.06.06

RESULTADOS DA ANÁLISE

Aspecto* : Sólido

Cor * : Castanho

Odor* : Ligeiro

RESÍDUO

ENSAIO	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO	UNIDADES
Perda a 103-105°C	SMEWW – 2540 G.	8,9	(%m/m)
Perda a 550°C*	SMEWW – 2540 G.	11	(%m/m)
Ponto de Inflamação**	DIN ISO 1516	>100	(°C)
Substâncias Lipofílicas**	DIN 38409-56	0,12	(%m/m)
Compostos orgânicos voláteis halogenados**	DIN EN ISO 10301	<0,8	(mg/kg)
Compostos orgânicos voláteis não halogenados**	DIN 98407-9-2	1,5	(mg/kg)
Arsénio*	SMEWW – 3114 C.	<5,1	(mg As/kg m.s.)
Cádmio*	SMEWW – 3111 B.	<51	(mg Cd/kg m.s.)
Cobre*	SMEWW – 3111 B.	<51	(mg Cu/kg m.s.)
Crómio*	SMEWW – 3111 B.	<51	(mg Cr/kg m.s.)
Mercúrio*	Anal. Elementar (IE-19)	0,2	(mg Hg/kg m.s.)
Níquel*	SMEWW – 3111 B.	<0,01	(% Ni m.s.)
Chumbo*	SMEWW – 3111 B.	<0,01	(% Pb m.s.)
Zinco*	SMEWW – 3111 B.	<51	(mg Zn/kg m.s.)
m.s. - matéria seca			

ELUATO¹/ÁGUAS

¹ Lixiviado filtrado obtido por pré-tratamento do resíduo de acordo com a Norma DIN 38414 – Parte 4 : Lamas e sedimentos (Grupo S).
A preparação do eluato não se encontra incluída no âmbito da acreditação.

ENSAIO	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO	UNIDADES
pH	SMEWW – 4500-H*	7,3 (21,3°C)	-
Condutividade	SMEWW – 2510 B.	712 (25,0°C)	(µS/cm)

Os ensaios assinalados com * não se encontram incluídos no âmbito da acreditação.
Os ensaios assinalados com ** foram subcontratados a Laboratório Acreditado para o ensaio referido.
Os ensaios assinalados com *** foram subcontratados a Laboratório não Acreditado.

Nota : Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra. Os resultados de ensaio referem-se exclusivamente à amostra ensaiada.

Pág. 1 / 2

Figura IV.2 – Boletim de análise das areias removidas na ETAR2.

15/03 2007 15:12 FAX

SIMARSUL

006

RELATÓRIO DE ENSAIOS

ETAR 2

Relatório nº :

Data de emissão : 09.06.06

RESULTADOS DA ANÁLISE (continuação)

ELUATO¹/ÁGUAS

¹ Lixiviado filtrado obtido por pré-tratamento do resíduo de acordo com a Norma DIN 38414 - Parte 4 : Lamas e sedimentos (Grupo S).
A preparação do eluato não se encontra incluída no âmbito da acreditação.

ENSAIO	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO	UNIDADES
Carbono orgânico total (TOC)***	ISO W035	38	(mg C/l)
Arsénio*	SMEWW - 3114 C.	<0,01	(mg As/l)
Cádmio*	SMEWW - 3111 B.	<0,1	(mg Cd/l)
Cobre*	SMEWW - 3111 B.	<0,1	(mg Cu/l)
Crómio VI*	SMEWW - 3500-Cr B.	<0,02	(mg Cr/l)
Crómio total*	SMEWW - 3111 B.	<0,1	(mg Cr/l)
Mercúrio*	Anal. Elemental (IE-19)	<0,02	(mg Hg/l)
Níquel*	SMEWW - 3111 B.	<0,2	(mg Ni/l)
Chumbo*	SMEWW - 3111 B.	<0,2	(mg Pb/l)
Zinco*	SMEWW - 3111 B.	<0,1	(mg Zn/l)
Fenóis*	SMEWW - 5530 B.	<0,6	(mg C ₆ H ₅ OH/l)
Fluoretos*	SMEWW - 4500-F C.	<1,0	(mg F/l)
Cloretos*	SMEWW - 4500-Cl B.	39	(mg Cl/l)
Sulfatos*	SMEWW - 4500-SO ₄ ²⁻ A.	2,4×10 ²	(mg SO ₄ /l)
Nitritos*	SMEWW - 4500-NO ₂ ⁻ B.	0,3	(mg N-NO ₂ /l)
Azoto Amoniacal*	SMEWW - 4500-NH ₃ B.	14	(mg N-NH ₃ /l)
Cianetos*	SMEWW - 4500 CN ⁻ E.	<0,08	(mg CN ⁻ /l)
Compostos orgânicos halogenados (AOX)**	DIN EN 1485.8.2.2	0,03	(mg Cl/l)

Observações:

SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
A recolha da amostra foi da responsabilidade do cliente.

Os resultados obtidos encontram-se abaixo do VMA (valor máximo admissível) constante do Decreto-lei nº 152/2002, de 23 de Maio.

O Responsável Técnico

Os ensaios assinalados com * não se encontram incluídos no âmbito da acreditação.
Os ensaios assinalados com ** foram subcontratados a Laboratório Acreditado para o ensaio referido.
Os ensaios assinalados com *** foram subcontratados a Laboratório não Acreditado.

Nota : Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra. Os resultados de ensaio referem-se exclusivamente à amostra ensaiada.

Pág. 2 / 2

Figura IV.2 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR2.

ANEXO V

BOLETINS DAS ANÁLISES DAS AREIAS REMOVIDAS NA ETAR DE SESIMBRA



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.º
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04436/07
Identificação: Branco

BOL-LAB-0027/07-1.04436/07 Boletim Definitivo - Revisão 1
Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Receção da amostra: 20-06-2007 Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 20-06-2007

Início: —

Tipo:

Fim da análise: 20-07-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 03-10-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Benzeno [b] DIN 38407-9-1	0.01	mg/kg de matéria seca	—	—
Cis-1,2-dicloroeteno [b] DIN EN ISO 10301	0.02	mg/kg de matéria seca	—	—
Compostos Orgânicos Voláteis não Halógenados [b] DIN 38407-9-1	0.000005	95	—	—
Etilbenzeno [b] DIN 38407-9-1	0.05	mg/kg de matéria seca	—	—
m-p-xileno [b] DIN 38407-9-1	0.05	mg/kg de matéria seca	—	—
o-xileno [b] DIN 38407-9-1	0.05	mg/kg de matéria seca	—	—
Tolueno [b] DIN 38407-9-1	0.05	mg/kg de matéria seca	—	—
1,1,1-Tricloroetano [b] DIN EN ISO 10301	0.0050	mg/kg de matéria seca	—	—
1,1-Dicloroetano [b] DIN EN ISO 10301	0.02	mg/kg de matéria seca	—	—
1,2-Dicloroetano [DCE] [b] DIN EN ISO 10301	0.02	mg/kg de matéria seca	—	—
Compostos Orgânicos Voláteis Halógenados [b] DIN EN ISO 10301	0.000002	90	—	—

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados. A presente revisão anula e substitui a revisão anterior (revisão 0).

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: —

Responsável Técnico

Carla Caetano
Carla Caetano

Página 1 de 3

instituto de soldadura
e qualidade


Lisboa Av. Prof. Cesário Eanes 32 • Taguspark • 2740-123 Oeiras • Portugal
Tel.: +351 21 422 31 04/34 20 • Fax: +351 21 422 31 04

labqui@isq.pt


www.isq.pt

Porto Rua da Mouraria 258 • 4415-021 Oporto • Portugal
Tel.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 79

Figura V.1 – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Branco.



LABQUI
 Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Ref. LABQUI: 04436/07
 Identificação: Branco

BOL-LAB-0027/07-1.04436/07 Boletim Definitivo - Revisão 1
 Divulgação: Confidencial

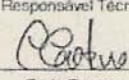
Tipo de amostra: Resíduo

Receção da amostra: 20-06-2007
 Início da análise: 20-06-2007
 Fim da análise: 20-07-2007
 Observações: —

Amostragem: Da responsabilidade do cliente
 Início: —
 Fim: —
 Tipo: —
 Emissão do boletim: 03-10-2007

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Diclorometano [b] <small>DIN EN ISO 10301</small>	0,01	mg/kg de matéria seca	—	—
Tetracloroetano [b] <small>DIN EN ISO 10301</small>	0,0050	mg/kg de matéria seca	—	—
Tetraclorometano [b] <small>DIN EN ISO 10301</small>	0,0050	mg/kg de matéria seca	—	—
Tricloroetano [b] <small>DIN EN ISO 10301</small>	0,0050	mg/kg de matéria seca	—	—
Triclorometano [b] <small>DIN EN ISO 10301</small>	0,005	mg/kg de matéria seca	—	—
Arsénio [b] <small>DIN EN ISO 11892</small>	< 5,0	mg/kg de matéria seca	—	—
Cádmio <small>EPA 3015, EPA 3050B e EPA 6010B</small>	< 0,87 (LQ)	mg/kg matéria seca	—	—
Chumbo <small>EPA 3015, EPA 3050B e EPA 6010B</small>	< 17 (LQ)	mg/kg de matéria seca	—	—
Cobre <small>EPA 3015, EPA 3050B e EPA 6010B</small>	86	mg/kg de matéria seca	—	—
Crómio <small>EPA 3015, EPA 3050B e EPA 6010B</small>	55	mg/kg de matéria seca	—	—
Mercurio [a] <small>EPA SW 846</small>	< 0,25 (LQ)	mg/kg matéria seca	—	—
Níquel <small>EPA 3015, EPA 3050B e EPA 6010B</small>	< 17 (LQ)	mg/kg de matéria seca	—	—
Zinco <small>EPA 3015, EPA 3050B e EPA 6010B</small>	1,1 x 10 ²	mg/kg de matéria seca	—	—
Coliformes Fecais [c] <small>Método da filtração por membrana (ME-15)</small>	2,6 x 10 ⁶	col./g	—	—

Observações:
 Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.
 A presente revisão anula e substitui a revisão anterior (revisão 0).
 VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.
 [a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.
 [b] - Parâmetro subcontratado.
 [c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.
 [d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificação.
 Limites de lei segundo: —

Responsável Técnico

 Carla Cretano

**instituto de soldadura
e qualidade**
Unidade: Av. Prof. Cícero Silva, 32 • Tapascent • 2740-120 Odivelas • Portugal
 Tels. +351 21 422 90 04/04 22 • Fax +351 21 422 91 94

labqui@isq.pt
 www.isq.pt

Porto: Rua da Mente, 25B • 4415-481 Ovar • Portugal
 Tels. +351 22 747 19 10/50 • Fax +351 22 747 19 10/746 52 26

Este boletim não pode ser reproduzido, exceto integralmente, sem autorização por escrito da ISQ.

LABQUI/Mod. 67/05

Página 2 de 3

Figura V.1 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Branco.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Ref. LABQUI: 04436/07
Identificação: Branco

BOL-LAB-0027/07-1.04436/07 Boletim Definitivo - Revisão 1
Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 20-06-2007

Início: —

Tipo:

Fim da análise: 20-07-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 03-10-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Coliformes Totais [c] <i>Método de filtração por membrana (ME-15)</i>	$5,8 \times 10^6$	col./g	—	—
Perda 105°C <i>EN 12880:2000</i>	23	% m/m	—	—
Perda 500°C - Perda 105°C <i>EN 12879:2000</i>	11	% m/m de matéria seca	—	—
Ponto de Inflamação [b] <i>DIN ISO 1516</i>	> 100	°C	—	—
Substâncias Lipofílicas [b] <i>DIN 38409:58</i>	0,43	%	—	—
Trans-1,2 - dicloroeteno [b] <i>DIN EN ISO 10301</i>	0,02	mg/kg da matéria seca	—	—

Este boletim não pode ser reproduzido, exceto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

A presente revisão anula e substitui a revisão anterior (revisão 0).

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: —

Responsável Técnico

Carla Castano
Carla Castano

Página 3 de 3

Instituto de soldadura
e qualidade

Lisboa: Av. Prof. Dr. Vasco Silva, 33 • Taguspark • 2740-100 Estoril • Portugal
Tel.: +351 21 422 80 04 / 34 20 • Fax: +351 21 422 81 04

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: Rua de Minas, 253 • 4415-401 Irmão • Portugal
Tel.: +351 22 747 18 10/50 • Fax: +351 22 747 18 10/745 57 78

Figura V.1 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Branco.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.º
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04437/07

BOL-LAB-0027/07-1.04437/07 Boletim Definitivo - Revisão 1

Identificação: Branco

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Eluato

Preparação: Realizada pelo ISQ (preparação não incluída no âmbito da acreditação)

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 22-06-2007

Tipo: —

Fim da análise: 31-07-2007

Início: —

Fim: —

Emissão do boletim: 23-08-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de Lei
pH (20 °C) NP 411	7,1	Escala de Sorensen	$\geq 4,0$ e ≤ 13
Condutividade (25 °C) NP EN 27898	$1,4 \times 10^{-3}$	$\mu\text{S}/\text{cm}$	—
Carbono Orgânico Total (COT) SMEWW 5310 B	52	mg/L	100
Arsénio [a] ISQ WD28	$< 5,0 \times 10^{-2}$ [LQ]	mg/L	0,5
Cádmio ISQ WD28	$< 5,0 \times 10^{-4}$ [LQ]	mg/L Cd	0,2
Cobre ISQ WD28	$4,0 \times 10^{-2}$	mg/L Cu	5
Crómio hexavalente (Crómio VI) ISQ WD39	$< 2,0 \times 10^{-2}$ [LQ]	mg/L	0,1
Crómio Total ISQ WD28	$< 1,0 \times 10^{-2}$ [LQ]	mg/L Cr	2
Mercurio SMEWW 3112 B	$< 5,0 \times 10^{-4}$ [LQ]	mg/L Hg	0,05
Níquel ISQ WD28	$1,0 \times 10^{-2}$	mg/L Ni	1
Chumbo ISQ WD28	$8,7 \times 10^{-3}$	mg/L Pb	1
Zinco ISQ WD28	0,31	mg/L Zn	5

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados. A presente revisão anula e substitui a revisão anterior (revisão 0).

VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Eluato (Não Perigosos)

Responsável Técnico

Ricardo Boleto
p.ª Carla Caetano

Página 1 de 2

Figura V.1 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Branco.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Ref. LABQUI: 04437/07

BOL-LAB-0027/07-1.04437/07 Boletim Definitivo - Revisão 1
Divulgação: Confidencial

Identificação: Branco

Tipo de amostra: Eluato

Preparação: Realizada pelo ISQ (preparação não incluída no âmbito da acreditação)

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 22-06-2007

Tipo: —

Fim da análise: 31-07-2007

Início: —

Fim: —

Emissão do boletim: 23-08-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de Lei
Fenóis <i>ASTM D 1783 / B</i>	0,10	mg/L C6H5OH	10
Fluoretos <i>SMEWW 4500-FD</i>	$< 5,0 \times 10^{-2}$ [LG]	mg/L F	25
Cloretos <i>ISO WD29</i>	21	mg/L Cl	5000
Sulfatos <i>ISO WD29</i>	$3,4 \times 10^2$	mg/L SO4	1500
Nitritos <i>SMEWW 4500-NO2 B</i>	$< 2,0 \times 10^{-2}$ [LG]	mg/L NO2	10
Amónio <i>SMEWW 4500-NH3 B e C</i>	$1,6 \times 10^2$	mg/L NH4	200
Cianetos Totais [c] <i>SMEWW 4500-CN E</i>	0,062	mg/L CN	0,5
AOX [b] <i>DIN EN 1485, B.2.2</i>	0,07	mg/L	1,5

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados. A presente revisão anula e substitui a revisão anterior (revisão 0).

VMR - Valor Máximo Recomendado; LG - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Eluato (Não Perigosos)

Responsável Técnico

Ricardo Baldeir

p. Carla Caetano

Página 2 de 2

LABQUI/Mod. 67/05

**instituto de soldadura
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 90 04/94 20 • Fax: +351 21 422 81 04

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

Figura V.1 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Branco.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.º
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04438/07

BOL-LAB-0027/07-1.04438/07 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Amostra I (10 mg NaOCl/L - 30 min)

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 20-06-2007

Início: —

Tipo: —

Fim da análise: 06-07-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 16-07-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Coliformes Fecais [b] <i>Método de filtração por membrana (ME-15)</i>	$6,7 \times 10^5$	col./g	—	—
Coliformes Totais [b] <i>Método de filtração por membrana (ME-15)</i>	$5,9 \times 10^6$	col./g	—	—

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Resíduo (Inertes)

Responsável Técnico

Ricardo Baldeir
p. Carla Caetano

Página 1 de 1

LABQUI/Mod. 67/05

**Instituto de soldadura
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 80 04/94 20 • Fax: +351 21 422 81 04

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: Rua do Minato, 258 • 4415-491 Grão • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Figura V.2 – Boletim de Análise das Areias Removidas na ETAR de Sesimbra, Ensaio I.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.º
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04439/07

BOL-LAB-0027/07-1.04439/07 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Amostra I [10 mg NaOCl/L - 30 min]

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Eluato

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 29-06-2007

Início: —

Tipo: —

Fim da análise: 01-08-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 02-08-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Carbão Orgânico Total (COT) SMEWW 5310 B	45	mg/L	40	—
AOX [b] DIN EN 1485, 8.2.2	0,04	mg/L	0,3	—

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Eluato [Inertes]

Responsável Técnico

Ricardo Baldoia

Carla Caetano

Página 1 de 1

LABQUI/Mod. 67/05

**instituto de soldadura
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 60 04/94 20 • Fax: +351 21 422 81 04

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 13/745 57 78

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Figura V.2 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Ensaio I.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.º
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04440/07

BOL-LAB-0027/07-1.04440/07 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Amostra II (20 mg NaOCl/L - 30 min)

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 20-06-2007

Início: —

Tipo: —

Fim da análise: 06-07-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 16-07-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Límite de lei	VMR
Coliformes Fecais [b] Método de filtração por membrana (ME-15)	$6,8 \times 10^5$	col./g	—	—
Coliformes Totais [b] Método de filtração por membrana (ME-15)	$8,2 \times 10^6$	col./g	—	—

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Resíduo (Inertes)

Responsável Técnico

Ricardo Baldaia
p. Carla Caetano

Página 1 de 1

LABQUI/Mod. 67/05

**Instituto de soldadura
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 90 04/94 20 • Fax: +351 21 422 81 04

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 259 • 4415-491 Grijó • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/30 • Fax: +351 22 747 19 18/745 57 78

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Figura V.3 – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Ensaio II.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.º
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04441/07

BOL-LAB-0027/07-1.04441/07 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Amostra II (20 mg NaOCl/L - 30 min)

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Eluato

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 29-06-2007

Início: —

Tipo: —

Fim da análise: 31-07-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 02-08-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Carbono Orgânico Total (COT) SMEWW 5310 B	29	mg/L	40	—
AOX [b] DIN EN 1485, 8.2.2	< 0,05 (LQ)	mg/L	0,3	—

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Eluato (Inertes)

Responsável Técnico

Ricardo Beltrão
p. Carla Caetano

Página 1 de 1

LABQUI/Mod. 67/05

**instituto de soldadura
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Coveco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 50 04/54 20 • Fax: +351 21 422 81 04

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

Figura V.3 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Ensaio II.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.ª
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04442/07

BOL-LAB-0027/07-1.04442/07 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Amostra III (10 mg NaOCl/L - 2h)

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 20-06-2007

Início: —

Tipo: —

Fim da análise: 06-07-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 16-07-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Coliformes Fecais [b] <i>Método de filtração por membrana (ME-15)</i>	$6,8 \times 10^5$	col./g	—	—
Coliformes Totais [b] <i>Método de filtração por membrana (ME-15)</i>	$4,8 \times 10^6$	col./g	—	—

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Resíduo (Inertes)

Responsável Técnico

Carla Caetano
p. Carla Caetano

Página 1 de 1

LABQUI/Mod. 67/05

**instituto de soldadura
e qualidade**

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 80 04/84 20 • Fax: +351 21 422 81 04

Porto: Rua do Minho, 25B • 4415-491 Grijó • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

Figura V.4 – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Ensaio III.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.ª
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04443/07

BOL-LAB-0027/07-1.04443/07 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Amostra III (10 mg NaOCl/L - 2h)

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Eluato

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 29-06-2007

Início: —

Tipo: —

Fim da análise: 01-08-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 02-08-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Carbono Orgânico Total (COT) SMEWW 5310 B	$4,4 \times 10^2$	mg/L	40	—
AOX [b] DIN EN 1485, 8.2.2	< 0,25 [LQ]	mg/L	0,3	—

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Eluato (Inertes)

Responsável Técnico

Ricardo Baldia

p.ª Carla Caetano

Página 1 de 1

LABQUI/Mod. 67/05

**instituto de soldadura
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Deltras • Portugal
Tels.: +351 21 422 90 04/94 20 • Fax: +351 21 422 81 04

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 25B • 4415-481 Góia • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Figura V.4 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Ensaio III.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luísa Todi, 300, 3.º
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04444/07

BOL-LAB-0027/07-1.04444/07 Boletim Definitivo - Revisão 0

Identificação: Amostra IV (20 mg NaOCl/L - 2h)

Divulgação: Confidencial

Tipo de amostra: Resíduo

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 20-06-2007

Início: —

Tipo: —

Fim da análise: 06-07-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 16-07-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Coliformes Fecais [b] <i>Método de filtração por membrana (ME-15)</i>	$4,6 \times 10^5$	col./g	—	—
Coliformes Totais [b] <i>Método de filtração por membrana (ME-15)</i>	$4,1 \times 10^6$	col./g	—	—

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Resíduo (Inertes)

Responsável Técnico

R. Carlos Baldona
p. Carla Caetano

Página 1 de 1

LABQUI/Mod. 67/05

**Instituto de soldadura
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 90 04/34 20 • Fax: +351 21 422 91 04

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Oñiz • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 13/745 57 78

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Figura V.5 – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Ensaio IV.



LABQUI
Laboratório de Química e Ambiente



Boletim de Análise

Simarsul - Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

Av. Luisa Todi, 300, 3.º
2900-452 Setúbal

Ref. LABQUI: 04445/07

BOL-LAB-0027/07-1.04445/07 Boletim Definitivo - Revisão 0
Divulgação: Confidencial

Identificação: Amostra IV (20 mg NaOCl/L - 2h)

Tipo de amostra: Eluato

Recepção da amostra: 20-06-2007

Amostragem: Da responsabilidade do cliente

Início da análise: 29-06-2007

Início: —

Tipo: —

Fim da análise: 01-08-2007

Fim: —

Emissão do boletim: 02-08-2007

Observações: —

Parâmetro / Norma	Resultado	Unidades	Limite de lei	VMR
Carbono Orgânico Total (COT) SMEWW 5310 B	98	mg/L	40	—
AOX [b] DIN EN 1485, 8.2.2	0,02	mg/L	0,3	—

Observações:

Os resultados deste boletim referem-se apenas aos produtos submetidos a ensaio, não constituindo aprovação ou reprovação dos produtos ensaiados.

VMA - Valor Máximo Admissível; VLE - Valor Limite de Emissão; VMR - Valor Máximo Recomendado; LQ - Limite de Quantificação.

[a] - Parâmetro não incluído no âmbito da acreditação.

[b] - Parâmetro subcontratado.

[c] - Parâmetro subcontratado não incluído no âmbito da acreditação.

[d] - Parâmetro em processo de acreditação e aguarda certificado.

Limites de lei segundo: D.L. 152/2002 - Eluato (Inertes)

Responsável Técnico

Ricardo Baldeir

p.ª Carla Caetano

Página 1 de 1

LABQUI/Mod. 67/05

**Instituto de soldadura
e qualidade**

labqui@isq.pt

www.isq.pt

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 21 422 90 04/34 20 • Fax: +351 21 422 61 04

Porto: Rua do Mirante, 25B • 4415-431 Oeiras • Portugal
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

Este boletim não pode ser reproduzido, excepto integralmente, sem autorização por escrito do ISQ.

Figura V.5 (cont.) – Boletim de análise das areias removidas na ETAR de Sesimbra, Ensaio IV.

ANEXO VI

RELATÓRIO DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AREIAS REMOVIDAS NA ETAR DE SESIMBRA

Análise Granulométrica

Relatório de Ensaio (adaptado do anexo C da NP EN 933-1:2000)

Análise granulométrica - Método de peneiração NP EN 933-1:2000	Laboratório: 1.16 Materiais de Construção Departamento de Engenharia Civil, FCT-UNL
Identificação da amostra	Data: 03 de Julho de 2007
Areias removidas do efluente da ETAR de Sesimbra	Operador: Maria Pereira
Procedimento usado: peneiração a seco	

Massa seca total M_1

Provete 1 = 609,2 g
Provete 2 = 649,9 g
Provete 3 = 630,8 g

Série	Designação do peneiro	Dimensão das aberturas do peneiro (mm)	Massa do material retido (g)				Percentagem do material retido	Percentagem do material retido acumulado	Percentagem do material passado acumulado
			Provete			Média ponderada			
			1	2	3				
1	3/8"	9,510	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
	4*	4,750	35,0	40,5	28,4	34,7	5,5	5,5	94,5
	8*	2,360	79,0	82,3	75,4	78,9	12,6	18,1	81,9
	16*	1,180	125,4	148,5	127,1	133,9	21,3	39,4	60,6
	30*	0,600	141,4	152,9	166,9	153,9	24,5	63,9	36,1
	35	0,500	50,3	47,6	53,8	50,5	8,1	72,0	28,0
	40	0,425	22,2	21,9	28,5	24,2	3,9	75,8	24,2
	45	0,355	57,1	55,1	59,2	57,1	9,1	85,0	15,0
2	50*	0,300	30,8	25,9	21,6	26,0	4,2	89,1	10,9
	60	0,250	30,3	33,6	32,2	32,1	5,1	94,2	5,8
	70	0,212	13,4	13,8	12,7	13,3	2,1	96,4	3,6
	80	0,180	7,9	8,8	8,0	8,2	1,3	97,7	2,3
	100*	0,150	4,2	4,8	4,2	4,4	0,7	98,4	1,6
	120	0,125	4,4	5,1	4,1	4,5	0,7	99,1	0,9
	140	0,106	2,0	2,3	1,8	2,0	0,3	99,4	0,6
3	170	0,090	0,9	1,4	1,1	1,1	0,2	99,6	0,4
	200*	0,075	0,9	1,2	0,9	1,0	0,2	99,8	0,2
	230	0,063	0,9	1,0	0,8	0,9	0,1	99,9	0,1
	270	0,053	0,4	0,5	0,4	0,4	0,1	100,0	0,0
	325	0,045	0,0	0,3	0,4	0,2	0,0	100,0	0,0
	400	0,038	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	Refugo		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	Total		606,5	647,5	627,5				
M ₁		609,2	649,9	630,8					
Validação (≤1%)		0,44	0,37	0,52					

Percentagem de finos (f) que passa no peneiro de 0,063 mm	0,55%
Máxima dimensão do agregado (D)	4,75 mm
Mínima dimensão do agregado (d)	0,212 mm
Módulo de Finura	3,1

Figura VI.1 – Relatório da análise granulométrica das areias removidas na ETAR de Sesimbra.

ANEXO VII

VALORES LIMITE DE ADMISSÃO DE RESÍDUOS NAS DIFERENTES CLASSES DE
ATERRO SANITÁRIO E VALORES OBTIDOS PARA AS AREIAS REMOVIDAS NA
ETAR DE SESIMBRA

Quadro VII.1 – Comparação entre os valores limite de admissão de resíduos nas diferentes classes de aterro, estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, e os valores obtidos para as areias removidas na ETAR de Sesimbra.

	Parâmetro	Classes de aterros			ETAR de Sesimbra
		Inertes	Não Perigosos	Perigosos	
Análise sobre o resíduo	Perda 105°C (%)	65	65	65	23
	Perda 500°C-Perda 105°C (%)	5	15	15	11
	Ponto de Inflamação (°C)	55	55	55	>100
	Substâncias Lipofílicas (%)	0,5	4	10	0,43
	Comp. Org. Vol. Hal. (%)	0,05	0,1	1	0,000002
	Comp. Org. Vol. não Hal. (%)	0,15	0,3	3	0,000005
	Arsénio (mg/kg)	250	2000	-	<5,0
	Cádmio (mg/kg)	50	1000	-	<0,67
	Cobre (mg/kg)	6000	60000	-	66
	Crómio (mg/kg)	3000	50000	-	55
	Mercúrio (mg/kg)	25	250	-	<0,25
	Níquel (mg/kg)	2000	50000	-	<17 ⁽¹⁾
	Chumbo (mg/kg)	2000	50000	-	<17 ⁽¹⁾
	Zinco (mg/kg)	8000	75000	-	110
	Coliformes Totais ⁽²⁾	-	-	-	5,8 x 10 ⁶
	Coliformes Fecais ⁽²⁾	-	-	-	2,6 x 10 ⁶
Análise sobre o eluato	pH	5,5<x<12	4<x<13	4<x<13	7,1
	Condutividade (mS/cm)	6<y<50	-	100	1,4
	COT (mg C/L)	40	100	200	52
	Arsénio (mg/L)	0,1	0,5	1	<0,05
	Cádmio (mg/L)	0,1	0,2	0,5	<0,0005
	Cobre (mg/L)	2	5	10	0,04
	Crómio VI (mg/L)	0,1	0,1	0,5	<0,02
	Crómio total (mg/L)	0,5	2	5	<0,01
	Mercúrio (mg/L)	0,02	0,05	0,1	<0,0005
	Níquel (mg/L)	0,5	1	2	0,01
	Chumbo (mg/L)	0,5	1	2	0,0087
	Zinco (mg/L)	2	5	10	0,31
	Fenóis (mg/L)	1	10	50	0,1
	Fluretos (mg/L)	5	25	50	<0,05
	Cloretos (mg/L)	500	5000	10000	21
	Sulfatos (mg/L)	500	1500	5000	340
	Nitratos (mg/L)	3	10	30	<0,02
	Amónio (mg/L)	5	200	1000	160
	Cianetos (mg/L)	0,1	0,5	1	0,062
	AOX (mg Cl/L)	0,3	1,5	3	0,07

⁽¹⁾ O valor deste parâmetro é inferior ao limite quantificável do ensaio pelo qual foi determinado.

⁽²⁾ Este parâmetro não consta no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio.